

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie  
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

**Porovnání simulačních programů pro vstřikování plastů**

**Comparing simulation programs for injection moulding plastics**

Jakub Zeman

**KSP – TP – 825**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. – *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: Ing. Martin Kryštof – *Robert Bosch České Budějovice*

## **Rozsah práce a příloh:**

Počet stran	88
Počet tabulek	55
Počet příloh	4
Počet obrázků	154

**Datum:** 05.06.2009

# **ORIGINÁLNÍ ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

## ANOTACE

### TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní

#### Katedra strojírenské technologie Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Jakub Zeman

Téma práce: Porovnání simulačních programů pro vstřikování plastů  
Comparing simulation programs for injection moulding plastics

Číslo DP: KSP-TP-825

Vedoucí DP: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.  
*TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Martin Kryštof  
*Robert Bosch GmbH., České Budějovice*

#### **Abstrakt:**

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním dvou simulačních programů (Cadmould 3D-F a Autodesk Moldflow Insight 2010). Pro 3 vybrané typy výrobků je provedena simulace vstřikování, chlazení a deformace v obou programech. Výsledky budou porovnány s nasnímaným reálným dílem a následně je zjištěno, který z programů se více blíží realitě.

#### **Abstract:**

This diploma work deals with comparing two simulation programs (Cadmould 3D- F and Autodesk Moldflow Insight 2010). For 3 chosen types of products are effected simulation injection moulding, cooling and deformation in both programs. Results will be compared with scanned real part and subsequently is ascertained, which one of programs are more approximates to reality.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Aleši Auspergerovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a ochotu při zpracování této diplomové práce a Ing. Martinovi Kryštofovi za pomoc při zpracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za trpělivost a podporu během celého mého studia na TU v Liberci.

## **Místopřísežné prohlášení**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5. června 2009

.....  
Jakub Zeman  
Sopřeč 107  
533 16 Vápno



## OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	8
1 ÚVOD.....	9
2 TEORETICKÁ ČÁST .....	11
2.1 Počítačová simulace.....	11
2.1.1 Programový aparát MKP .....	11
2.1.2 Princip MKP .....	13
2.1.3 MKP v simulačních analýzách vstřikování plastů .....	13
2.1.4 Typy sítí .....	14
2.1.5 Předpoklady řešení .....	16
2.2 AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT 2010.....	18
2.2.1 Simulační program Autodesk Moldflow Insight 2010.....	18
2.3.2 Výpočtové modely v AMI .....	19
2.3 CADMOULD 3D-F.....	21
2.3.1 O programu CADMOULD 3D-F .....	21
2.3.2 Výpočtový model .....	22
2.4 Materiál POM.....	24
2.4.1 Historie .....	24
2.4.2 Zvláštní struktury POM .....	24
2.4.3 Přednosti materiálů .....	25
2.4.4 Struktura .....	25
2.4.5 Průběh krystalizace .....	25
2.4.6 Struktura a houževnatost.....	26
2.4.7 Dodávaný sortiment.....	27
2.4.8 Základní vlastnosti POM.....	27
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	30
3.1 Společnost Robert Bosch .....	30
3.1.1 Historie společnosti.....	30
3.1.2 Závod Robert Bosch České Budějovice .....	30
3.2 Postup přípravy projektů pro simulaci.....	32
3.2.1 Příprava sítě .....	32



3.2.2 Příprava chladících kanálů.....	34
3.2.3 Příprava vtokového systému.....	36
3.2.4 Zadávání procesních parametrů .....	38
3.3 Porovnávání díl Topf Audi FSI .....	41
3.3.1 Informace pro simulace .....	41
3.3.2 Porovnání rozměrů .....	42
3.3.3 Maximální deformace .....	53
3.3.4 Porovnání pomocí barevné mapy .....	54
3.4 Porovnávání díl Topfdeckel.....	56
3.4.1 Informace pro simulace .....	56
3.4.2 Porovnání rozměrů .....	57
3.4.3 Maximální deformace .....	66
3.5 Porovnávání díl Filtergehäuse.....	68
3.5.1 Informace pro simulace .....	68
3.5.2 Porovnání rozměrů .....	69
3.3.3 Maximální deformace .....	81
3.6 Porovnání Cadmould vs. AMI.....	82
3.6.1 Úprava modelu + vytvoření sítě.....	82
3.6.2 Zadaní vstupních dat.....	83
3.6.3 Vstřikovací parametry.....	83
3.6.4 Výsledky simulace – smrštění a deformace .....	84
4 DISKUZE VÝSLEDKŮ .....	85
5 ZÁVĚR.....	87
LITERATURA .....	88



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

### ***Zkratka:***

### ***Význam:***

*.stl	typ formátu souboru
*.igs	typ formátu souboru
FEM	Finite Element Method (Metoda konečných prvků)
MKP	metoda konečných prvků
CAD	počítačem podporovaná konstrukce
CAE	počítačem podporovaná výroba
AMI	Autodesk Moldflow Insight
GIT	vstřikování s podporou plynu
vs.	versus
obr.	obrázek
tab.	tabulka
č.	číslo
cca.	přibližně
atd.	a tak dále
např.	například
tzn.	to znamená
a. s.	akciová společnost
GmbH	společnost s ručením omezeným
POM	polyoxymethylén
PE-LD	nízkohustotní polyethylen
PTFE	polytetrafluorethylen



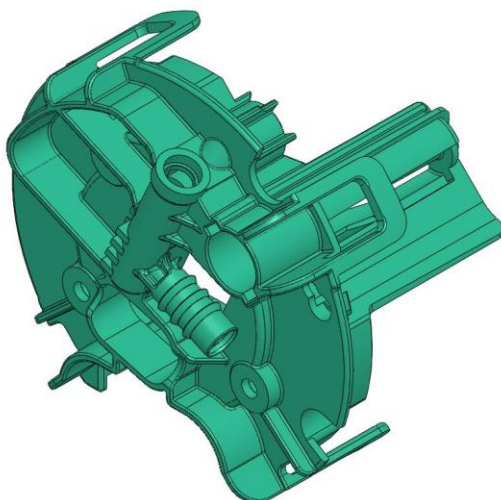
# 1 ÚVOD

V současné době se stále častěji setkáváme s plastovými výrobky v místech, kde bylo jejich nasazení do nedávna nemyslitelné. Vzhledem k obrovskému vývoji a modifikaci nových polymerů je jejich aplikace v průmyslu stále významnější. Dnes jsou jednoznačně považovány za plnohodnotné konstrukční materiály. Vzhledem k jejich širokému využití jsou kladeny vysoké požadavky na jejich různorodost, jak v designu, tak i na jejich specifické vlastnosti. Z těchto vlastností se zvláště cení jejich malá měrná hmotnost, která je asi 4 až 8x menší než u ocelí. Dále mnohé plasty předčí kovy svou chemickou odolností, a to jak vůči kyselinám tak i zásadám. Všeobecně mají plasty velmi dobré tepelně izolační i elektroizolační vlastnosti. V některých případech se uplatní nízký koeficient tření, schopnost tlumit rázy a vibrace. Samozřejmě mechanické vlastnosti plastů závisí na tom, zda jsou vyztužené nebo nevyztužené, ale u běžných plastů jsou obecně nižší než u ocelí. Novým trendem v této oblasti je tzv. radiační zesíťování plastů, kdy jdou zajistit odlišné vlastnosti v různých částech výrobku.

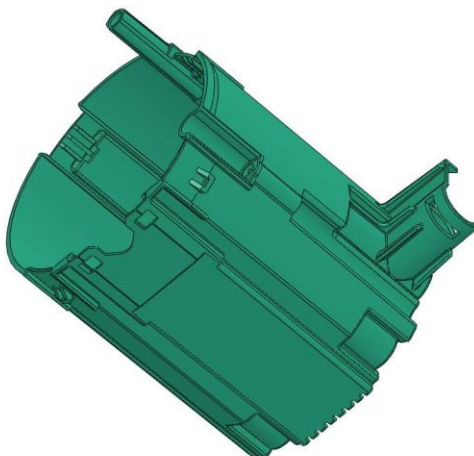
Nejrozšířenější způsob zpracování plastů je technologie vstřikování. Touto technologií lze vyrábět výrobky jednoduchých i složitých tvarů při zachování vysoké rozměrové přesnosti a povrchové jakosti.

Pro zajištění vysoké kvality, rozměrové přesnosti a vyrobiteľnosti výrobků již v předvýrobní fázi, se stále častěji využívá simulačních programů, které tak umožňují snížení nákladů spojených jak s výrobou nástroje, tak i se sériovou výrobou. Mezi tyto programy patří CADMOULD 3D-F od společnosti SIMCOM nebo AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT 2010 od společnosti AUTODESK. Oba tyto programy jsou použity v této diplomové práci.

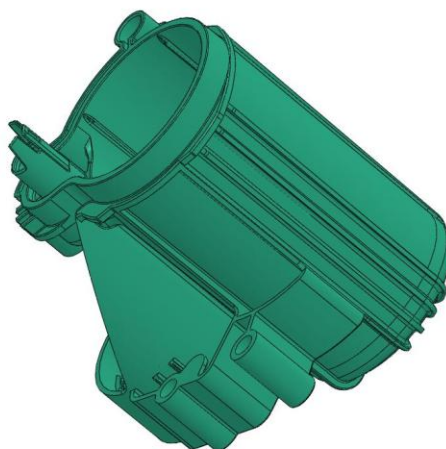
Cílem této diplomové práce je porovnání obou softwarů ve spolupráci se společností Robert Bosch České Budějovice. V obou programech budou provedeny simulace vstřikování, chlazení, smrštění a deformace pro tři vybrané výrobky, které se již sériově vyrábí, tudíž známe veškeré technologické parametry. Jsou to výrobky: Topfdeckel (obr. 1.1), Topf Audi FSI (obr. 1.2) a Filtergehäuse (obr. 1.3). Dále tyto reálné výrobky budou nasnímány a porovnány s výsledky ze simulací. Výsledky budou porovnány jak pomocí barevné mapy tak i proměřením vytipovaných rozměrů.



*Obr. 1.1: Topfdeckel*



*Obr. 1.2: Topf Audi FSI*



*Obr. 1.3: Filtergehäuse*

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Počítačová simulace [1], [2], [3]

V dnešní době se s rozvojem výpočetní techniky začali zásadně měnit požadavky na její uživatele. V poslední době nabyly poznatky, které vedou ke správné volbě výpočetního modelu a interpretaci výsledků, značnou převahu nad matematickou a programátorskou stránkou celé problematiky. Tato problematika stále více zůstává vyhrazena nejlepším týmům matematiků, programátorů a specialistů firem produkujících software tohoto typu. V nich hrají jednu z hlavních rolí programy, které na základě vstupních dat dodají všechny výstupy (vnitřní síly, deformace, smrštění, atd.) potřebné pro další interpretaci objektů, reprezentovaných výpočetními modely.

Prakticky všechny programy tohoto typu jsou založeny na nejefektivnější současné metodě, označované mezinárodně zavedenou zkratkou FEM (Finite Element Method) nebo českou zkratkou MKP (metoda konečných prvků).

#### 2.1.1 Programový aparát MKP

MKP je velmi úzce spjata s výpočetní technikou a softwarovým inženýrstvím. Její robustnost a univerzalita je podmíněna nebývalým množstvím zpracovávaných dat a náročností na počet operací. Použití MKP v „ručním“ výpočtu je prakticky nemožné. Programové aparáty metody konečných prvků mají obvykle dva základní typy programů:

- Program provádějící vlastní výpočet – numerické jádro
- Programy pro přípravu vstupních dat a zpracování výsledků – preprocesor a postprocesor

Na numerická jádra jsou kladeny tyto hlavní požadavky:

- **Vybavenost** vyjadřuje požadavek uživatele, aby v programu byly implementovány úlohy, které uživatel potřebuje. Tento požadavek bývá splňován buď snahou po maximální univerzalitě, nebo naopak úzkou specializací.
- **Spolehlivost** znamená, že všechny partie programu jsou ověřovány a testovány a jsou fyzikálně i matematicky správně implementovány. Jedním

z atributů spolehlivosti je dlouhodobý vývoj a zpětná vazba mezi uživateli a výrobcí programu.

- **Robustnost** se míní na jedné straně kvalitou samotného kódu, minimalizace výskytu programátorských chyb, na druhé straně jasný a srozumitelný návrh rozhraní, který minimalizuje nebezpečí nedorozumění mezi programátorem a uživatelem. Dále s tím související srozumitelný systém chybových hlášení a varování, dostatečně podrobný protokol o úloze a také kvalitní dokumentace.
- **Výkon** je prvořadým požadavkem, ale jeho dosažení pomocí kompromisů s předchozími třemi body není správným krokem. U MKP roste náročnost výpočtu zhruba s druhou až třetí mocninou rozsahu úlohy, takže výkon programu a výkon výpočetní techniky jsou často limitujícím faktorem, který určuje koncepci MKP modelování.

Požadavky na pre-postprocesory jsou různorodější a více závislé na oboru a typu úlohy. Ve strojírenských aplikacích MKP je v současnosti standardem **podpora geometrického modelování a automatizované generování MKP sítě** do geometrických šablon. Běžným požadavkem jsou importy geometrických modelů z CAD programů. V některých případech dochází k užšímu propojování CAD programů s MKP preprocesory i numerickými jádery, takže rozdíly mezi CAD programy a MKP se zmenšují.

Dnes existují programy aplikující metodu konečných prvků v různých formách. Z hlediska dostupnosti a podpory můžeme hovořit o programech **komerčních**, které vyvíjejí a prodávají specializované firmy pro relativně široké spektrum uživatelů v daném oboru, programech **firemních**, které vznikly v jednotlivých firmách (často v době, kdy vhodný komerční produkt nebyl dostupný) a programech **veřejných**, které typicky vznikají na univerzitách a ve výzkumných institucích jako otevřené experimentální kódy. Vzhledem k vysoké kvalitě, širokému spektru řešitelných problémů a relativní cenové dostupnosti komerčních programů dnes vývoj nových firemních kódů téměř neexistuje.

MKP programy mohou pokrývat řešení různých matematických, fyzikálních i technických úloh v mnoha oborech.

### 2.1.2 Princip MKP

Podstatou metody konečných prvků je nejprve rozdělení geometrie řešeného tělesa na konečný počet oblastí (prvků). Po zadání okrajových podmínek se úloha převede na řešení soustavy diferenciálních rovnic a provede se výpočet takto vzniklé soustavy, která může obsahovat miliony rovnic. Hlavní výhodou MKP je, že umožňuje dokonale aproximovat řešené těleso.

Tento proces označujeme jako prostorovou diskretizaci, neboť jednoznačně specifikuje, jakým způsobem bude ke spojitému problému přiřazen diskrétní numerický model s konečným počtem neznámých parametrů (stupňů volnosti). Rozdělením vznikne síť konečných prvků, která je určena, známe-li množinu očíslovaných prvků (elementů), uzlů, uzlové souřadnice a přiřazení uzlů k prvkům. Tato část se také nazývá preprocessing.

### 2.1.3 MKP v simulačních analýzách vstřikování plastů

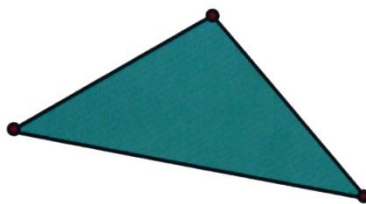
Jako první krok tomu, aby simulace mohla být vůbec spuštěna, musí být na modelu vytvořena vhodná síť konečných prvků. Často je tato síť konečných prvků nazývána jednoduše jako síť. Prvky rozdělují geometrii součásti nebo části nástroje na množství malých oblastí. Tyto malé oblasti neboli prvky jsou definovány pomocí uzlů (souřadnic v prostoru), které jsou využity k výpočtům simulačních analýz vstřikování plastů. Existují 3 hlavní typy těchto prvků:

- Nosník (prut) – 2-uzlový prvek používaný k definování vtokové soustavy, chladících kanálů, atd.
- Trojúhelník – 3-uzlový prvek používaný k definování součástí, vložek forem, atd.
- Čtyřstěn – 4-uzlový prvek používaný k definování součástí jader, vtokových soustav, atd.

Příklady těchto tří typů naznačeny na obrázku 2.1



2-uzlový prvek  
Prut



3-uzlový prvek  
Trojúhelník



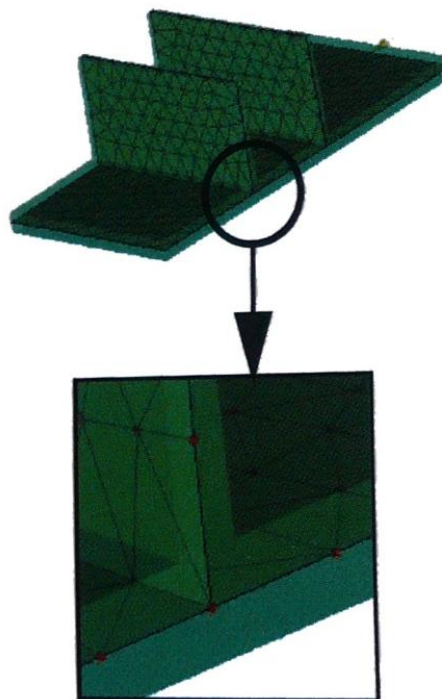
4-uzlový prvek  
Čtyřstěn

Obr. 2.1: Základní typy prvků pro tvorbu sítě konečných prvků [3]

#### 2.1.4 Typy sítí

K analýze vstřikování plastů jsou používány 3 typy sítí, které využívají kombinaci již zmíněných prvků. Jsou to tyto typy sítí:

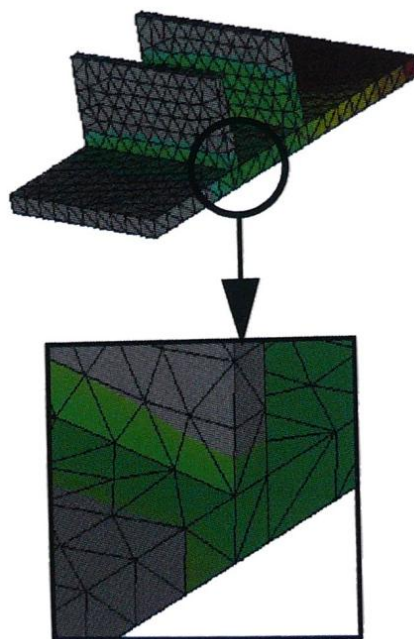
- Střednicová síť (obr. 2.2)
  - je definována na střední ploše nebo ose výrobku
  - trojúhelníkové prvky jsou primárně použity k definování dílu
  - prvek prut může být použit k definování vtokového systému, chladících kanálů, atd.



Obr. 2.2: Střednicová síť [3]

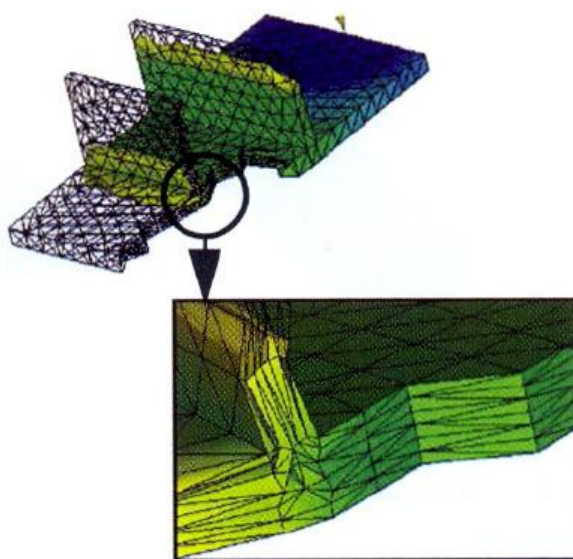


- Povrchová síť (obr. 2.3)
  - trojúhelníkové jsou definovány na ploše výrobku
  - tato metoda se nazývá Dual Domain<sup>TM</sup> (Fusion)
  - prvek prut může být použit k definování vtokového systému, chladících kanálů, atd.



Obr. 2.3: Povrchová síť [3]

- 3D objemová síť (obr. 2.4)
  - čtyřstěnné prvky jsou využity k definování dílu, který je tvořen několika řadami v celém objemu
  - prvek prut nebo čtyřstěn může být použit k tvorbě vtokové soustavy



Obr. 2.4: 3D objemová síť [3]

## 2.1.5 Předpoklady řešení

### 2.1.5.1 Střednicová a povrchová síť

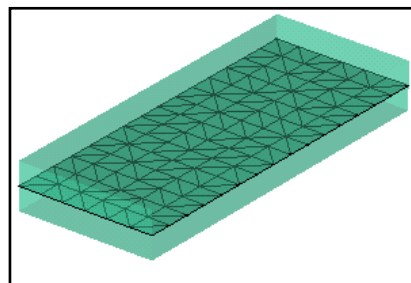
U obou typů těchto sítí se využívá stejného řešení toku materiálu. Každý typ řešení má jisté předpoklady. Řešení je na principu generalizovaného Helen-Shaw modelu tečení. Tento model vychází z následujících předpokladů:

- laminární tok obecné Newtonovské tekutiny
- setrvačnost a gravitace může být ignorována
- v rovině toku vedení tepla zanedbatelné v porovnání s vodivostí ve směru tloušťky
- tepelné proudění je ve směru tloušťky zanedbatelné
- tepelné ztráty na hranách mohou být pro trojúhelníkové prvky ignorovány

Specifické předpoklady jednotlivých prvků:

- **Pruty:** občas označované jako 1D elementy, které mají přidělený příčný průřez a tvar. Reprezentují osově souměrný kruhový kanál toku obecné Newtonovské tekutiny. Nekruhový tvar je typicky reprezentován pomocí odpovídajícího kruhového kanálu se stejným hydraulickým průměrem, ale sníženým objemovým průtokem, aby dával stejnou průměrnou průtokovou rychlost jako původní tvar. Veškeré ztráty náhlým zúžením v přenosovém kanálu jsou začleněny pomocí empirického modelu odvozeného od Bagleyovy korekce viskózního chování. Prvek prut nemůže odpovídat za nerovnováhu smykového napětí, kterou občas vidíme ve vtokovém systému.

- **Trojúhelníky ve střednicové síti (obr. 2.5):** trojúhelníkové prvky jsou používány ve střednicové síti a často nazývány jako 2,5D elementy nebo skořepinové elementy. Tato síť popisuje 3D těleso jako dvojdimenzionální rovinnou plochu ve středu tloušťky tělesa. Této rovině je přiřazena tloušťka tělesa, z tohoto důvodu termín 2,5D. Vzhledem k předpokladům uváděným výše je příčný řez, který může být vytvořen pomocí tohoto typu prvku, omezen. Jako minimum podílu šířky k tloušťce v určité lokální oblasti

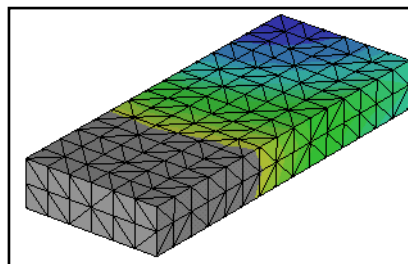


Obr. 2.5: Trojúhelníky střednicové sítě [5]



musí být nejméně 4:1, jinak to může způsobit závažnou chybu. U poměru šířky k tloušťce 4:1 je 20% hraničená plocha ve směru tloušťky a tato oblast neodpovídá rovnici přenosu tepla. Větší překročení tohoto pravidla znamená větší množství možných chyb. Toto je zvláštní problém pro čtvercovou geometrii, podobný jako u spojení žebër, otvorů nebo mřížek.

- **Trojúhelníky v povrchové síti (obr. 2.6):** povrchová síť občas nazývaná jako modifikovaná 2,5D síť, představuje 3D díl s mezní nebo povrchovou sítí na vnější ploše tělesa. Hlavní rozdíl mezi střednicovou a povrchovou sítí je, jak je určena tloušťka. U těchto sítí jsou prvky uspořádány a zarovnány přes tloušťku. Vzdálenost mezi prvky na protilehlých stranách stěny definuje tloušťku dílu. Hustota sítě je důležitým faktorem určujícím přesnost popisu tloušťky, především u zúžených částí jako jsou např. žebra. Odpovídající procento prvků na povrchové síti je klíčovým faktorem určujícím kvalitu sítě. (Může být až 85%.)



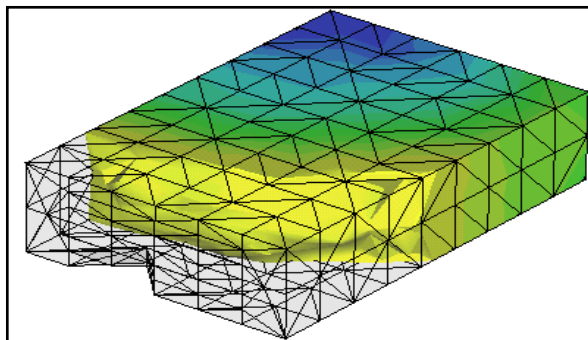
Obr. 2.6: Trojúhelníky povrchové sítě [5]

### 2.1.5.2 Objemová 3D síť

3D síť vytváří méně předpokladů než síť střednicová a povrchová. Má tyto předpoklady:

- využívá úplné 3D Navier-Stokes rovnice
- řeší tlak, teplotu a složky rychlosti ve třech směrech pro každý uzel
- uvažuje vedení tepla ve všech směrech
- poskytuje možnosti použít setrvačný a/nebo gravitační efekt

3D síť vytváří pravdivý 3D popis dílu (obr. 2.7). Pracují dobře i se silnými a robustními díly, které porušují pravidlo o tloušťce platné pro střednicové a povrchové sítě, jako například elektrické zástrčky a tlusté konstrukční dílce.



Obr. 2.7: 3D objemová síť [5]

## 2.2 AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT 2010

[4], [5]

### 2.2.1 Simulační program Autodesk Moldflow Insight 2010

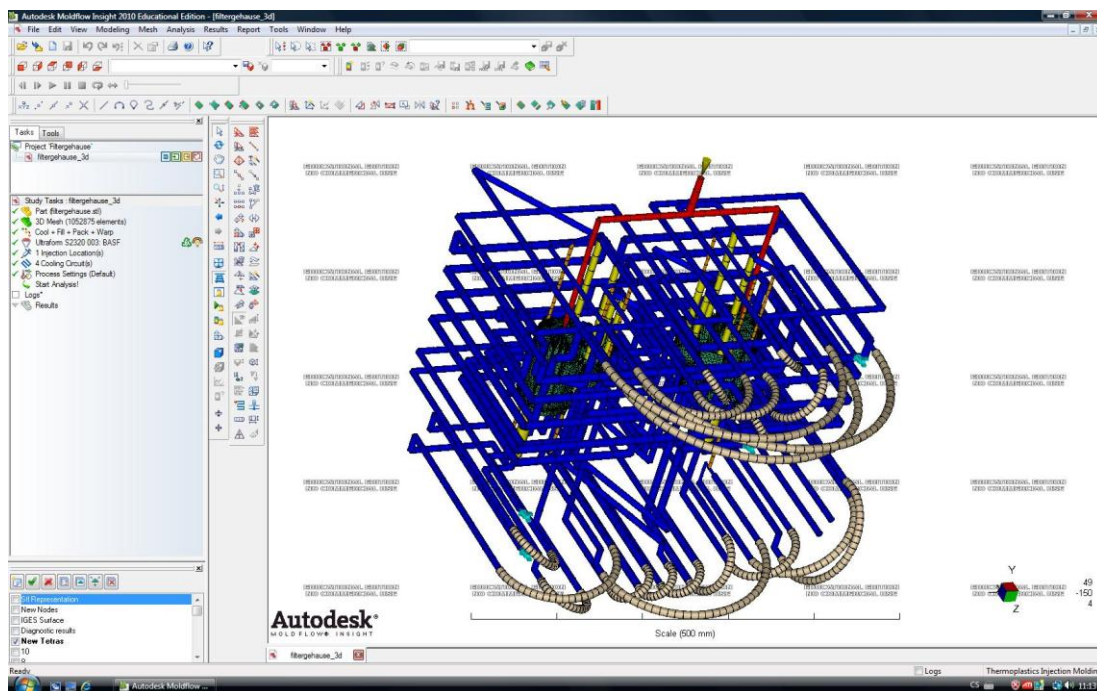
Autodesk Moldflow Insight (AMI) je komplexní soubor softwarových nástrojů, kterým lze předcházet problémům již v předvýrobní fázi výroby, protože problémy, které se objeví teprve při zahájení výroby, způsobují značné náklady a časové prodlevy. Jelikož AMI řeší vlivy, jako např. geometrie dílu, volba materiálu, konstrukce nástroje a procesní parametry, najednou, může při správném použití softwaru předcházet těmto situacím. V této fázi představují případné změny konstrukce, materiálu, apod. pouze minimální náklady.

Funkce programu AMI umožňují simulace plnění, dotlaku a chlazení u vstřikování termoplastů, termosetů a materiálů s plnivem a se skelnými vlákny. Dále umožňuje předpovědět následné efekty, např. deformaci dílu. V AMI můžeme simulovat i tok materiálu a vytvrzování v reaktivním procesu vstřikování.

AMI obsahuje světově nejrozsáhlejší specializovanou databázi materiálů termoplastů a termosetů pro CAE analýzy. Dále jsou k dispozici podrobné informace o chladicích médiích, materiálech pro výrobu nástrojů a možnostech hlavních značek a modelů vstřikovacích strojů.

Software AMI pokrývá nejširší škálu typů geometrií a výrobních metod spojených se vstřikovacími procesy.

Nové verze AMI poskytují přesnější výsledky, výrazně snižují čas řešení, lépe spolupracují s CAD systémy a lépe prezentují výsledky analýz, což je ukázáno na obr. 2.8.



Obr. 2.8: Uživatelské prostředí AMI

### 2.3.2 Výpočtové modely v AMI

Autodesk Moldflow Insight podporuje všechny tři metody řešení analýzy modelu. AMI umožní přímo analyzovat tradiční modely se střednicovou plochou konečných prvků. Trojrozměrné tenkostěnné modely lze analyzovat pomocí solveru AMI/Fusion a trojrozměrné silnostěnné modely pomocí solveru AMI/3D.

Všechny tyto modely jsou podrobně popsány výše, zde budou uvedeny pouze jejich výhody a nevýhody.

#### 2.3.2.1 Střednicový model

Výhody:

- + Vysoké rozlišení v oblastech velkých změn, které je umožněno rozdělením tloušťky stěn do mnoha vrstev.
- + Jednoduchá změna geometrie, proveditelná ve výpočtovém modulu konečných prvků nezávisle na CAD.
- + Krátký výpočtový čas.
- + Přesnost výsledků.

Nevýhody:

- Střednicový model nelze ve většině případů vytvořit zcela automaticky z geometrie CAD.
- Vytvoření střednicového modelu vyžaduje časově náročnou práci s určitou mírou zkušeností.
- Uživatel musí v silnostěnných oblastech rozhodnout, jaké jsou zde směry tečení, případně jaký je směr tloušťky stěn.
- Střednicový model ztěžuje interpretaci výsledků z důvodu geometrického nezobrazování tloušťky stěn.

### 2.3.2.2 Objemový model

Výhody:

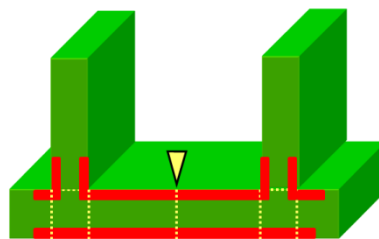
- + Všechny prostorové směry jsou rovnocenné. Uživatel nemusí rozdělit geometrii na směr tloušťky stěn a dva směry tečení.
- + Při použití jednoduchých konečných elementů může být výpočtová geometrie automaticky připravena pomocí generátoru sítě.
- + Zobrazení geometrie odpovídá realitě.

Nevýhody:

- I nejjednodušší geometrické změny jsou možné pouze při nákladné interaktivní činnosti uživatele, např. musí provést konstrukční změny v CAD a obnovit výpočtovou síť konečných prvků.
- Příliš nízký počet elementů skrz tloušťku stěny poskytuje nepřesné výsledky.
- Vysoký počet elementů vede v praxi k dlouhé době výpočtu.

### 2.3.2.3 Příhradový model

Příhradový model je založen na společnosti Moldflow patentované Dual Domain technologii (obr. 2.9), která spojuje výhody střednicového a objemového modelu. Umožňuje pracovat přímo s 3D CAD modely bez potřeby pracného a časově náročného vytváření sítě konečných prvků. Jinými slovy může uživatel strávit více času



Obr 2.9: Dual Domain [5]

optimalizací výrobku a konstrukcí formy, než časově náročnější přípravou výpočtového modelu. Tento model využívá k popisu geometrie vstupní formát \*.stl, který je automaticky připravován systémy CAD. Objem dílce daný \*.stl modelem je následně vyplněn mnoha pruty, pomocí nichž je identifikován tok materiálu a přenášeny mechanické síly. Tímto způsobem vznikne tří-dimenzionální model, který zahrnuje všechny tři prostorové směry x, y, z. Příhradový model poskytuje nejlepší kombinaci rychlosti analýzy a její přesnosti, jelikož byl vyvinut přímo pro tenkostěnné plastové výrobky, které převládají při procesu vstřikování.

Výhody:

- + Výpočtová geometrie vzniká automaticky z \*.stl.
- + Zobrazení geometrie odpovídá realitě.
- + Krátký výpočtový čas ve srovnání s objemovým modelem.
- + Přesnost výsledků.

## 2.3 CADMOULD 3D-F [6]

### 2.3.1 O programu CADMOULD 3D-F

Německá společnost Simcon GmbH představila novou generaci programu pro analýzu vstřikování plastových dílů pod označením Cadmould 3D-F. Tato verze nabízí uživatelům nové automatické funkce: optimalizace technologických parametrů, optimalizace poloh vtokových ústí v oblasti zvolených ploch apod. Vývoj automatických funkcí probíhá v rámci projektu Evropské unie “Virtual Injection Moulding“, na kterém spolupracuje mnoho evropských firem a výzkumných institutů.

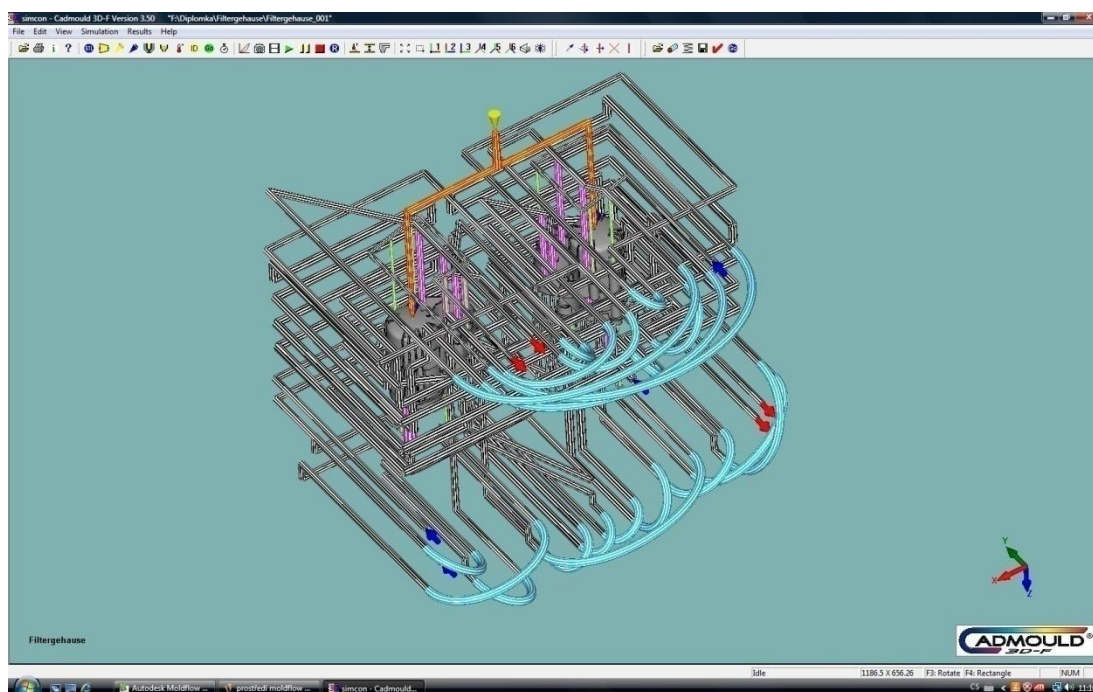
Cadmould se skládá z řady modulů schopných provádět výpočty a simulace procesu vstřikování. Tím tak pomáhá konstruktérovi případně technologovi optimalizovat technologický proces, zkracuje dobu vývoje nových výrobků a zvyšuje kvalitu plastových dílů.

Výpočty mohou být prováděny pro termoplasty, reaktoplasty a elastomery. Program umí analyzovat jak klasické technologie vstřikování, tak i technologie dvoukomponentního vstřikování, vstřikování s podporou plynu (GIT), kaskádové vstřikování a vstřikování do polootevřené formy. Program obsahuje moduly

pro jednoduché simulace plnění a strukturně viskózní tepelně závislé výpočty. Ty analyzují plnění, dotlak, chlazení, smrštění a deformace. Všechny analýzy jsou založeny na metodě konečných prvků se zohledněním materiálových vlastností plastů. Výpočtové moduly analyzují chování plastů v dutině formy na základě reologických rovnic. Program rozlišuje, zda jsou vtokové systémy horké, studené nebo kombinované.

Software Cadmould v sobě obsahuje vlastní databázi materiálů, kterou lze rozšířit pomocí databáze Campus, která obsahuje přes 7000 typů materiálů.

Uživatelské prostředí je orientováno dialogově s využitím techniky oken, což je ukázáno na obr. 2.11.



Obr. 2.10: Uživatelské prostředí Cadmould 3D-F

### 2.3.2 Výpočtový model

Firma Simcon vyvinula a nechala si patentovatý 3D příhradový model (obr. 2.11). 3D-F model konečných prvků je speciálně přizpůsoben pro simulace vstřikování plastových dílů.

3D-F metoda využívá k popisu geometrie jako vstupní formát STL, který byl vyvinut pro technologii Rapid Prototyping (stereolitografie). STL formát je automaticky připravován systémy CAD. CADMOULD 3D-F vytvoří na povrchu dílu výpočtovou síť. Objem dílu, daný touto sítí, je následně vyplněn mnoha



„trubičkami“, na kterých leží 25 interpolačních uzlů. V objemu dílu je tak vytvořen jakýsi "oblak" výpočtových bodů. Pomocí spojnic (trubiček) jsou také přenášeny mechanické síly, např. pro výpočet smrštění a deformace. Tak vznikne 3D model, který zahrnuje všechny 3 prostorové směry  $x$ ,  $y$  a  $z$ .

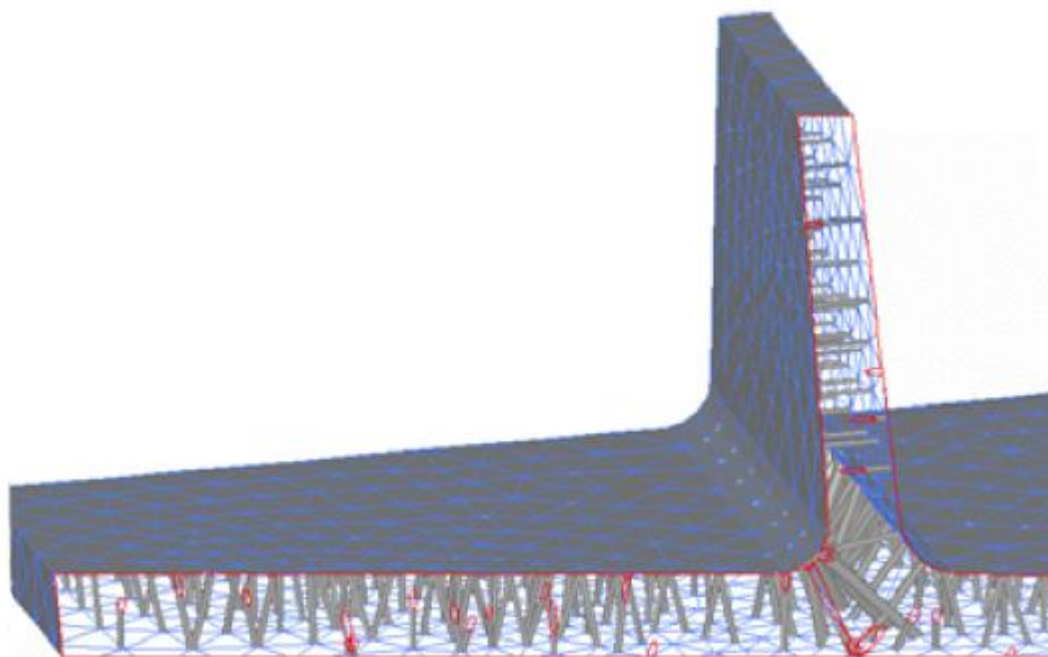
Uvedené řešení umožní přesné rozlišení měnicích se teplot, smykových rychlostí atd. po tloušťce stěny, což je nutným předpokladem pro přesný výpočet měnicích se komplexních proudových stavů v různých místech konstrukce. Jsou tak vypočítány průběhy např. tlaků a rychlostí a od nich odvozených přídržných sil a orientace vláken. Tyto faktory, spolu s přesnými tepelnými výpočty, jsou předpokladem pro spolehlivé stanovení smrštění a deformace dílu.

Výhody modelu CADMOULD 3D-F:

- Výpočtová geometrie vzniká automaticky.
- Je dosaženo vysokého rozlišení po tloušťce stěn v oblastech velkých změn např. teplot a smykových rychlostí.
- Objemné části dílu a oblasti se skokovými změnami tloušťky stěn budou správně zohledněny a vyhodnoceny.
- Model konečných prvků umožňuje provádět jednoduché změny geometrie za účelem optimalizace, např. vytvářet tokové dráhy nebo měnit tloušťku stěn, a to nezávisle na CAD.
- Zobrazení geometrie odpovídá realitě.
- Je možné převést zoptimalizovanou geometrie (kompenzace smrštění a deformace) zpět do CAD systému.

CADMOULD 3D-F nabízí prostřednictvím patentovaného 3D-F modelu vedle spolehlivého využívání přesně to, co uživatel, pracující v průmyslovém podniku, očekává od softwaru procesních simulací:

- **Jednoduchou, automatickou přípravu modelu.**
- **Rychlý výpočet.**
- **Přesné výsledky.**



*Obr. 2.11: Příhradový výpočtový model používaný v Cadmouldu [7]*

## 2.4 Materiál POM [8], [9], [10]

### 2.4.1 Historie

Polyacetál, polyoxymethylén, polyformaldehyd jsou různé názvy pro jeden polymer, vyráběný polymerací formaldehydu. Na trh byl uveden v roce 1958 ve Spojených státech amerických. Pod pojmem polyacetály si lze představit jednak homopolymery, ale také kopolymery aldehydů. Zvláštností této skupiny plastů je stavba jejich makromolekul. Zatímco prakticky všechny ostatní polymery mají v makromolekule delší nebo kratší úseky na sebe vázaných atomů uhlíku, střídají se v makromolekule polyoxymethylénu pravidelně atomy uhlíku a kyslíku, přesněji řečeno methylenové skupiny a atomy kyslíku.

### 2.4.2 Zvláštní struktury POM

Tato zvláštní struktura makromolekulárních řetězců způsobuje, že tyto polymery jsou vysoce krystalické a houževnaté a i v nevyztuženém stavu patří mezi plasty s největší tuhostí a pevností. Polyacetálové koncové skupiny jsou slabým místem makromolekul polyoxymethylénu. Jejich stability se dosahuje esterifikací anhydritem kyseliny octové. Dalším zlepšením je kopolymerace formaldehydu



s dalšími vhodnými polymerizovatelnými monomery. Dosáhne se tak tuhých a pevných plastů, které mají vysokou teplotní stabilitu a zároveň jsou i vysoce chemicky odolné. Polyoxymethylény jsou plasty vyznačující se následujícími přednostmi.

#### 2.4.3 Přednosti materiálů

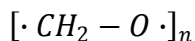
- mají vysokou houževnatost až do nízkých záporných teplot, až  $-40^{\circ}\text{C}$ ,
- mají vysokou tvrdost a jsou tuhé, tedy málo ohebné, čili mají vysoký modul pružnosti,
- mají vysokou teplotní odolnost, tvarovou stálost za tepla a vysokou hodnotu teploty měknutí,
- mají dobrou odolnost proti korozi a za napětí,
- jen málo pohlcuje vodu,
- poměrně dobře odolávají i působení různých činidel,
- mají příznivé elektrické a dielektrické vlastnosti,
- mají dobré kluzné vlastnosti,
- snadno se zpracovávají,

Při zpracování je nutné mít na zřeteli poměrně velké smrštění, které činí 1,5 až 2,5 %.

Tento mimořádně příznivý soubor vlastností předurčuje polyacetály k využití jako konstrukční materiály pro výrobu dílů přesné mechaniky.

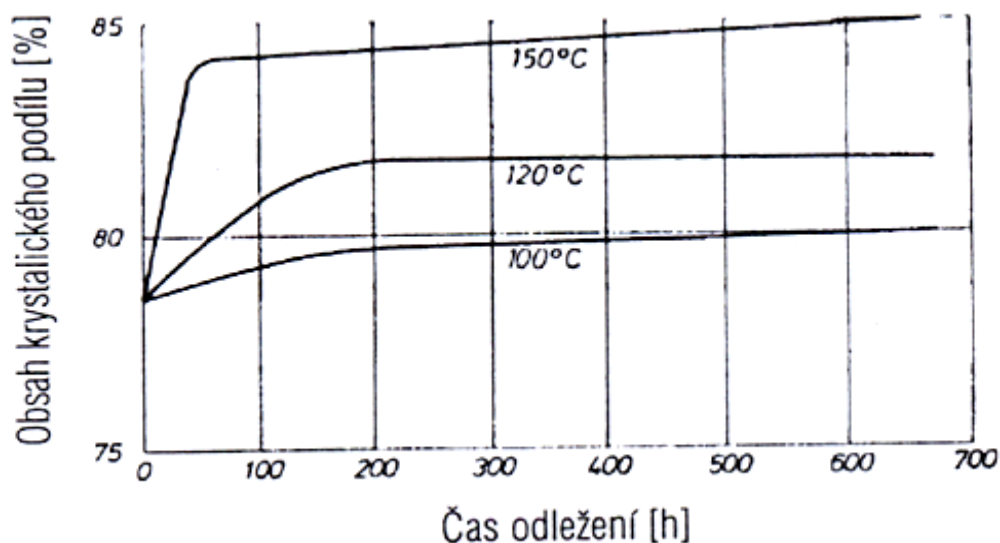
#### 2.4.4 Struktura

**Struktura polyacetály:**



#### 2.4.5 Průběh krystalizace

Stejně jako polyethylen má i polyoxymethylén lineární makromolekulu bez pravidelně se opakujících postranních skupin, takže odpadá možnost tzv. takticity řetězce, tedy pravidelnosti v uspořádání těchto bočních skupin. Oba polymery jsou díky své struktuře krystalizující. Obsah krystalického podílu dosahuje u POM vysokých hodnot, až 80-85 %. S časem odložení hotových výrobků obsah krystalického podílu ještě dále vzrůstá (obr. 2.12).



Obr. 2.12: Zvýšení podílu krystalické fáze v důsledku odložení výrobku z POM při různých teplotách [10]

Množství krystalického podílu lze u polyethylenu snížit zavedením postranních skupin (ty má například PE-LD), u polyoxymethylénu se krystalinita snižuje kopolymerací s dalšími komonomery. Pravidelné a těsné uspořádání makromolekul polyoxymethylénu způsobuje jeho schopnost dobře krystalizovat a vede také k relativně vysoké hodnotě hustoty. Přítomnost pravidelně se vyskytujících atomů kyslíku zase na druhou stranu způsobuje zvýšenou ohebnost řetězců. To má za následek relativně nízkou hodnotu teploty skelného přechodu,  $-73^{\circ}\text{C}$ . Nad touto teplotou je tedy polyoxymethylén měkký, houževnatý plast odolný proti úderu.

#### 2.4.6 Struktura a houževnatost

Teplota krystalizace má vliv na velikost nadmolekulárních krystalických útvarů, sférolitů. Probíhá-li chladnutí výrobku při vyšší teplotě, vytvářejí se větší sférolity. Takové sférolity jsou pak nežádoucí z hlediska houževnatosti materiálu čili jeho odolnosti snášet údery. Platí, že čím menší jsou sférolity, tím je polyoxymethylén houževnatější. Aby se dosáhlo příznivé houževnatosti, je třeba vyvolat vznik drobných sférolitů. Proto se někdy k polyoxymethylénu přidávají tzv. nukleární činidla, která podporují krystalizační aktivitu, při níž se vytváří velký počet malých sférolitů. Po rychlém ochlazení výrobku, především při vstřikování, dosáhneme výborné houževnatosti. Současně se tím urychlí i vstřikovací cyklus.

### 2.4.7 Dodávaný sortiment

Polyoxymethylén se dodává jako granulát v přírodním provedení nebo jako obarvený. Používají se také typy vyztužené skelnými vlákny, a to 10 až 40 %. Mnohá zlepšení vlastností lze docílit přidavkem dalších komponent, z nichž nejpoužívanější jsou silikonový olej, různé vosky, sirník molybdeničitý, polytetrafluórethylén (PTFE) či křída. Polotovary jsou známy ve formě bloků, tyčí, desek a trubek.

### 2.4.8 Základní vlastnosti POM

Ve srovnání s ostatními běžnými termoplasty leží mechanická pevnost polyoxymethylénu výše. Toto platí i pro chování polyoxymethylénu při vyšších teplotách.

Přehled základních vlastností se je uveden v tabulce 2.1.

Tab. 2.1: Základní vlastnosti POM [9]

Název:	p o l y o x y m e t h y l e n				Zkratka:	POM
Způsob výroby:	polymerace		Nadmolekulární struktura:		semikrystalický	
Fyzikální vlastnosti:						
hustota:	1420 kg.m <sup>-3</sup>	stupeň krystalinity:		70-90%	smrštění:	2 %
Mechanické vlastnosti:						
modul pružnosti:	2800 – 3500 MPa		pevnost v tahu:		Až 70 MPa	
Teplotní a tepelné vlastnosti:						
teplota zesklnění:	50 – 60 °C		teplota tání:		175 °C	
teplota tvarové stálosti:	100 °C		sušení:		120°C / 4 h	
Elektrické vlastnosti:						
velmi dobré elektrické a dielektrické vlastnosti						
Chemická odolnost:						
silné kyseliny a zásady způsobují jeho rozklad						
Zkouška plamenem:						
barva plamene:	modrý	dým:		ostatní:	málo svítivý	
Ostatní:						
odolává křípu a nárazům, neodolává povětrnosti						
Oblasti použití:						
vstřikování, vytlačování						
Možnosti spojování:						
lepení, svařování, potiskování						

#### **2.4.8.1 Tepelné vlastnosti**

Oblast tání polyoxymethylénu je poměrně úzká a leží mezi 164 °C a 175 °C. Dlouhodobá teplotní odolnost je velmi dobrá a dlouhodobě lze polyoxymethylén používat do teplot 100 °C. Pro vyztužené typy POM dosahuje teplota dlouhodobé použitelnosti 120 °C. Kopolymery POM se oproti homopolymerům vyznačují zlepšenou teplotní stabilitou.

#### **2.4.8.2 Optické vlastnosti**

Výrobky z polyoxymethylénu jsou vzhledem ke svému krystalickému charakteru průsvitné až mléčně zakalené. Propustnost světla 2 mm destičkou činí jen asi 50 % a index lomu je 1,48.

#### **2.4.8.3 Chemické vlastnosti**

Polyoxymethylén je poměrně dobře odolný vůči působení chemikálií. Velmi důležitá je jeho odolnost vůči pohonným hmotám a také methanolu, který se v pohonných hmotách vyskytuje. Odolává slabým kyselinám a louhům (silným louhům odolávají pouze kopolymery), benzinu, benzenu, alkoholům, olejům, tukům, halogenovaným uhlovodíkům, vodě i detergentům.

Odolává i horké vodě. Je však napadán silnými kyselinami a oxidačními činidly.

#### **2.4.8.4 Nasákavost**

Polyoxymethylén pohlcuje částečně vodu a výrobky při tom mění své rozměry.

#### **2.4.8.5 Hořlavost**

Polyoxymethylén hoří namodralým plamenem a hoření je doprovázeno typickým formaldehydovým zápachem. Podle UL-94 je klasifikován do třídy HB.

#### **2.4.8.6 Fyziologické vlastnosti**

Polyoxymethylén je plast bez chuti a zápachu. Řada typů je také fyziologicky nezávadná a lze je používat i pro styk s pitnou vodou.

#### 2.4.8.7 Vstřikování POM

Nejdůležitějším způsobem zpracování je vstřikování. Typy s vyšší střední molární hmotností, tedy typy s nízkým indexem toku taveniny, se hodí pro vytlačování. Některé typy jsou i mírně zesíťované, ty lze následně vyfukovat na duté předměty. Doporučuje se granulát před zpracováním předsušet. Doporučené podmínky sušení jsou 85-110 °C po dobu 2 hodin ve vakuové nebo horkovzdušné sušárně.

Tab. 2.2 Doporučené teploty zpracování [10]

Technologie Zpracování POM [°C]	Doporučitelná teplota zpracování	Teplota formy [°C]	Smrštění [%]
Vstřikování	180-230	nad 90	1,9 až 2,3
Vytlačování	180-190	-	-
Vyfukování	180	90-100	-
Lisování	180	-	-

Vstřikování polyoxymethylénu lze provádět na strojích s délkou šneku 16-20D. Pro dlouhé dráhy nebo tenkostěnné výstřiky je zapotřebí vstřikovat za vyšších teplot. Vstřikovací teplota závisí především na indexu toku taveniny. Pohybuje se od 180 °C do 230 °C. Při vyšších teplotách se polyoxymethylén snadno tepelně štěpí. Toto štěpení je kromě nepříjemného zápachu formaldehydu provázeno nebezpečím vzniku staženin, žloutnutím plastu a sít'ováním. Při přerušení procesu vstřikování je třeba zamezit dlouhodobému výskytu taveniny při zvýšené teplotě ve válci vstřikovacího stroje. Proto se má teplota snížit na 150 °C. V každém případě je ale nutné při obnovení pochodu vstřikování obsah komory odstříknout. Teplota formy by se měla pohybovat od 50 °C do 100 °C, vhodnější jsou teploty vyšší. U dlouhých tokových drah je možné teplotu formy zvýšit dokonce na 140 °C.



## 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 3.1 Společnost Robert Bosch [11]

#### 3.1.1 Historie společnosti

**Robert Bosch GmbH** je německá společnost, založená v roce 1886 Robertem Boschem.

Sídlem celosvětové skupiny s více než 250 000 zaměstnanci je město Gerlingen, severozápadně od Stuttgartu. Logem firmy je stylizovaná kotva elektromotoru. Skupina Bosch v současnosti zahrnuje asi 280 vedlejších firem, z toho 230 jich má své sídlo jinde než v Německu. Dodávají díly a zařízení pro automobilový průmysl, domácí spotřebiče a elektrické nářadí. Věnují se i průmyslové technologii balení, výrobě pro stavebnictví a průmysl i zabezpečovací technice. V roce 2005, dosáhl obrát firem skupiny 41.5 miliardy Euro. Významnou roli hraje výzkum a vývoj nových technologií (v roce 2005 na vývoj firma věnovala 3,1 miliardy euro).

V roce 2004 byla Robert Bosch GmbH sedmnáctou společností v žebříčku *Top 20 Patent Winners* v USA s 907 novými patenty. Bosch si za svou dlouholetou existenci získal renomé společnosti vyrábějící produkty nejvyšší kvality, s cenou sice mírně převyšující konkurenční, ale s výrobky s maximálními výkony a životností. Filosofie firmy bývá vyjádřena jedním z mott: „Rozdíl není v ceně“. Oficiální motto je *Technika pro život*.

#### 3.1.2 Závod Robert Bosch České Budějovice

Společnost Robert Bosch v Českých Budějovicích byla založena 1. května 1992 jako společný podnik stuttgartského koncernu Bosch GmbH, Stuttgart a Motoru Jikov a.s. V roce 1995 se koncern Bosch stal jediným vlastníkem společnosti v Českých Budějovicích. Výrobní program zahrnuje komponenty automobilové techniky pro koncernovou divizi GS – Gasoline Systems (benzínové systémy). Českobudějovická společnost exportuje přes 90% své produkce zákazníkům, jimiž jsou téměř všechny významné evropské automobilky.



Pro novou společnost v Českých Budějovicích byl kompletně vystavěn nový závod s nejmodernějším vybavením a infrastrukturou na koncernové úrovni. Mimo jednotlivých výrobních úseků vybudovala společnost vlastní oddělení vývoje a výzkumu, včetně zkušebního centra pro dlouhodobé zkoušky. Rozvoj společnosti v Českých Budějovicích lze v její nedlouhé historii označit jako prudký a tento trend bude pokračovat i do budoucna, k čemuž významně přispívají vysoce kvalifikovaní a motivovaní pracovníci společnosti, kteří přicházejí z celé České republiky. K zajištění odpovídající kvalifikace přispívá mimo jiné i středisko praktického vyučování pro zhruba 40 učňů zřízené přímo v areálu společnosti, které představuje z hlediska regionu nový prvek umožňující zvyšování kvalifikace budoucích pracovníků společnosti.

V roce 2004 se stal závod v Českých Budějovicích řídícím závodem pro následující výrobky:

- nádržový čerpadlový modul
- víko hlavy válců
- plynový pedál
- sací modul

V praxi to znamená, že převzal hlavní odpovědnost za inovace těchto produktů a spoluřídí tak jejich výrobu i v ostatních závodech Bosch po celém světě.

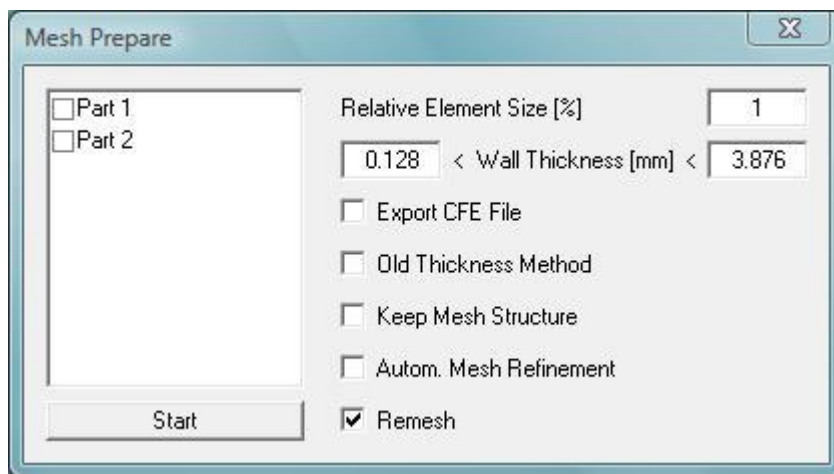


## 3.2 Postup přípravy projektů pro simulaci

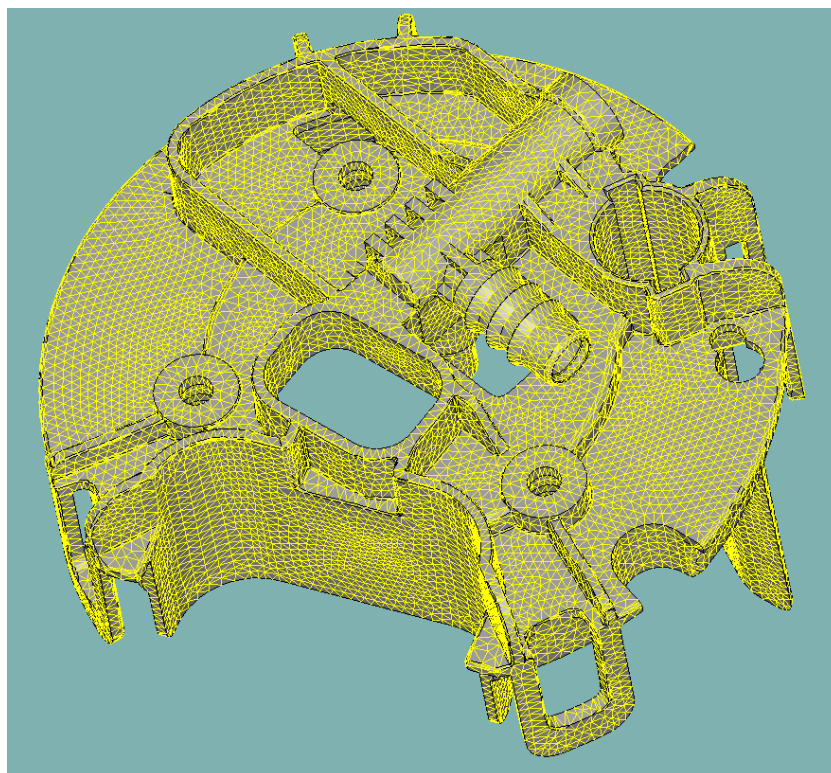
### 3.2.1 Příprava sítě

#### 3.2.1.1 Tvorba sítě v Cadmould

V Cadmouldu se síť připravuje velmi jednoduše. Po načtení modelu (model dutiny formy) ve formátu \*.stl se jednoduše vytvoří síť, musíme pouze zadat relativní velikost elementu (obr. 3.1) a výsledkem je síť na modelu (obr. 3.2).



Obr. 3.1: Příprava sítě

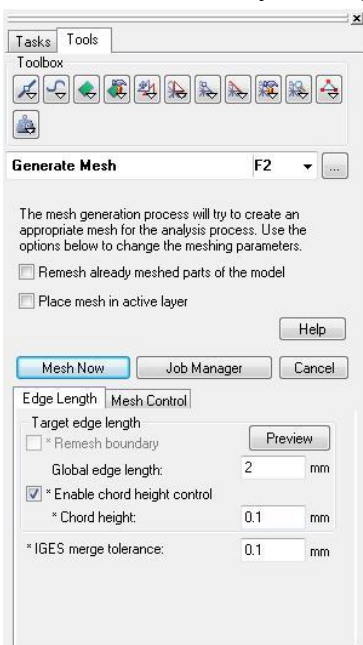


Obr. 3.2: Vytvořená síť

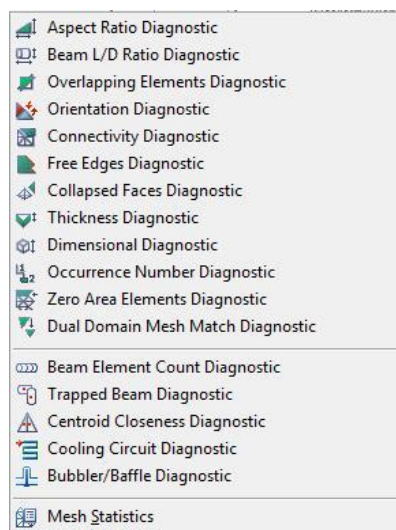


### 3.2.1.2 Tvorba sítě v AMI

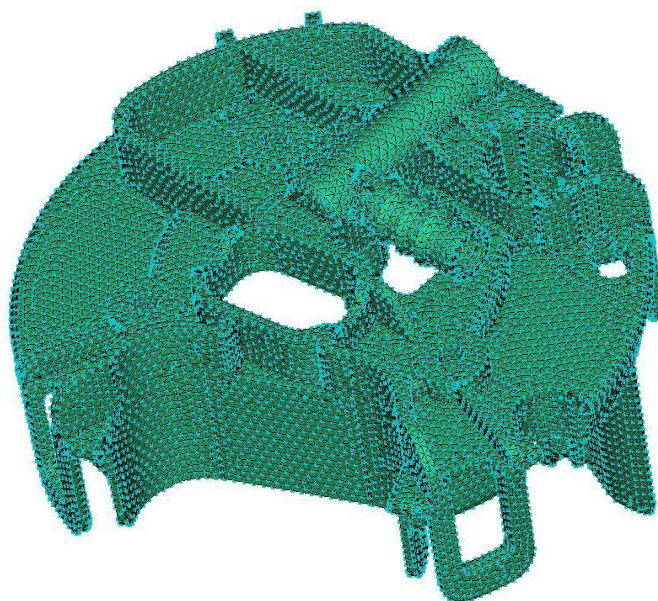
V tomto programu byly pro simulaci využity 2 druhy sítí (Fusion a 3D). Nejprve byla na importovaném modelu vytvořena povrchová síť (obr. 3.3). Tato síť se musela nejprve odladit pomocí panelu nástrojů pro tuto úpravu a pomocí několika diagnostik (obr. 3.4), které odhalují chyby v síti, jako jsou například, díry, trojúhelníky s opačnou orientací, místa s příliš malou tloušťkou stěny, kde by mohly vzniknout problémy při vstřikování. Takto upravená a odladěná síť se pak převede na síť 3D (obr. 3.5). Případně lze model připravit v programu CadDoctor, který odstraní malé rádiusy, které programu AMI nesvědčí.



Obr. 3.3: Generování sítě



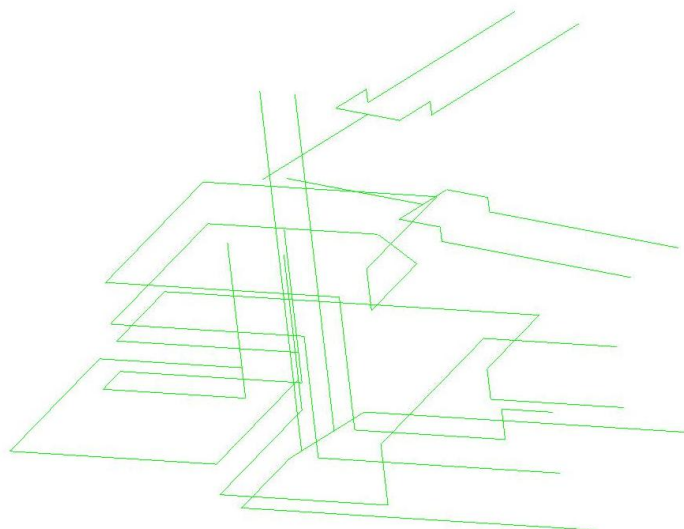
Obr. 3.4: Diagnostiky



Obr. 3.5: Vytvořená síť

### 3.2.2 Příprava chladících kanálů

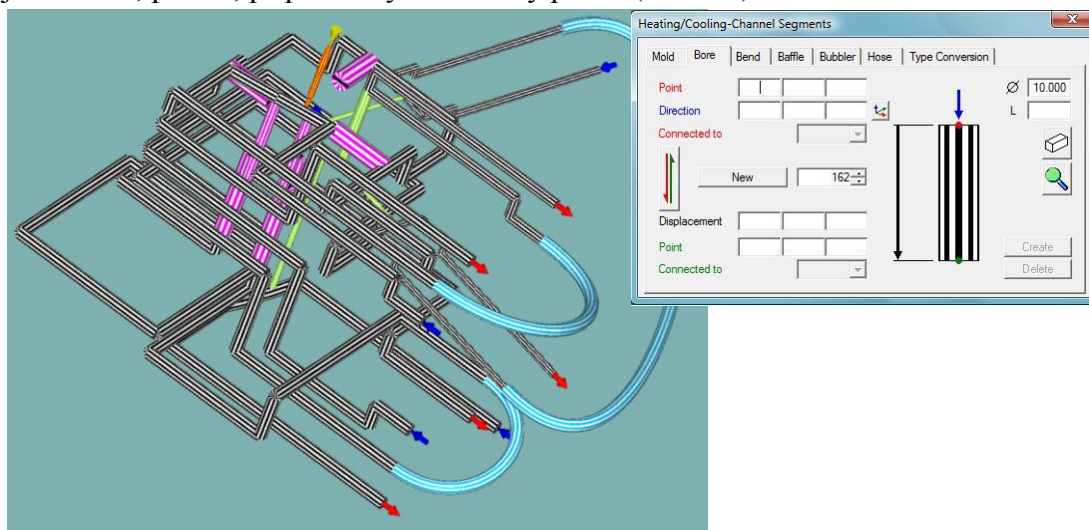
Temperační kanály byly získány ze skutečných forem, které byly k dispozici v elektronické podobě, tudíž bylo možné exportovat osy těchto kanálů do formátu \*. igs (obr. 3.6). Tato úprava a export byla provedena v programu Unigraphics.



Obr. 3.6: Příklad os chladících kanálů

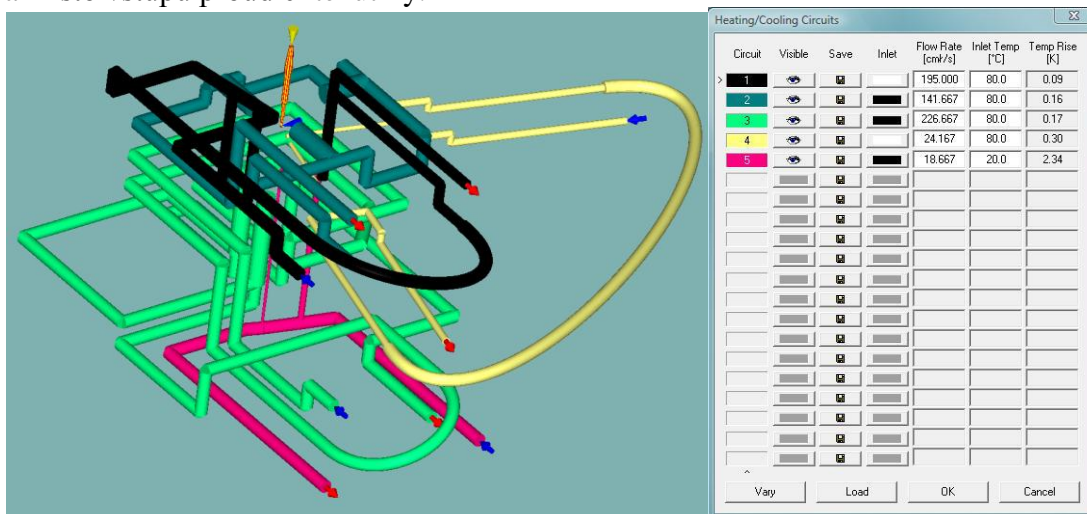
#### 3.2.2.1 Tvorba kanálů v programu Cadmould 3D-F

Temperační kanály byly importovány k dílu, zde byla provedena úprava jejich polohy vůči modelu a přiřazen průřez kanálu. Cadmould většinou sám rozpozná, zda jde o chladicí kanál, přepážku nebo trubičku. V případě, že byl kanál špatně určen, lze jej snadno upravit, pomocí panelu nástrojů, kde jde zároveň upravit jeho délka, průřez, případně vytvořit nový prvek (obr. 3.7).



Obr. 3.7: Chladicí kanály + panel nástrojů pro tvorbu a úpravu chladících kanálů

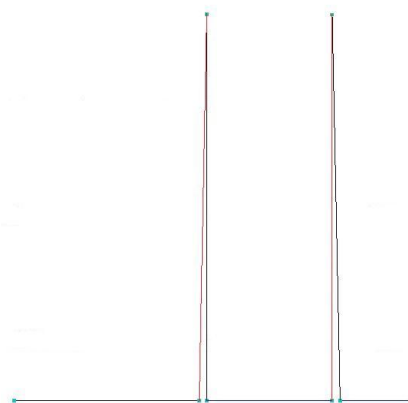
Následně byly jednotlivé kanály spojeny do chladicích okruhů pomocí prvku typu hadice (Hose), v tabulce (obr. 3.8) jim byla přiřazena teplota, průtok a místo vstupu proudící tekutiny.



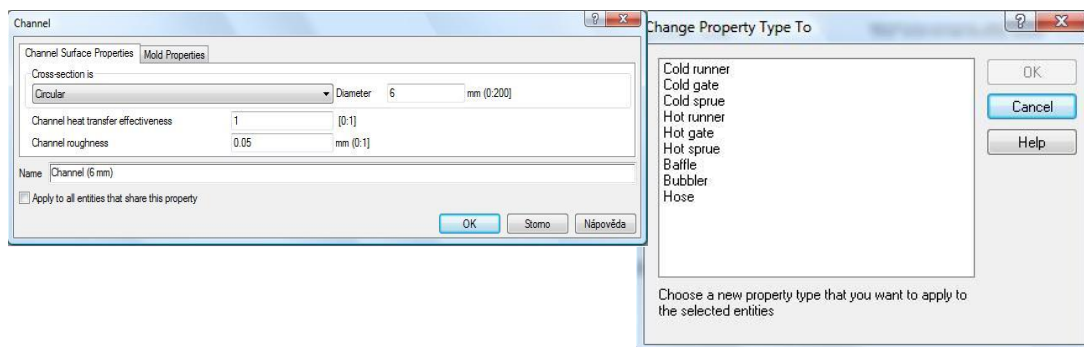
Obr. 3.8: Chladicí okruhy v Cadmouldu + tabulka nastavených hodnot

### 3.2.2.2 Tvorba kanálů v programu AMI

Temperační kanály ve formátu \*.igs byly opět importovány k dílu, kde byla provedena úprava jejich polohy vůči modelu. V místech, kde byly trubičky nebo přepážky, musela být provedena úprava chladicího systému z důvodu, že v tomto programu se nemohou stýkat 3 prvky v jednom uzlu. V případě trubičky se vytvoří další kanál, který ovšem neodvádí žádné teplo. U přepážky se vytvoří další přepážka (obr. 3.9) a u obou těchto přepážek se nastaví efektivita odvodu tepla na 0,5. Následně byly tyto osy rozděleny do hladin, podle typu prvku a průřezu. Těmto jednotlivým hladinám byly přiřazeny vlastnosti a vytvořena na nich síť (obr. 3.10), jejichž velikost elementu byla dána 2,5 násobkem jejich průměru.

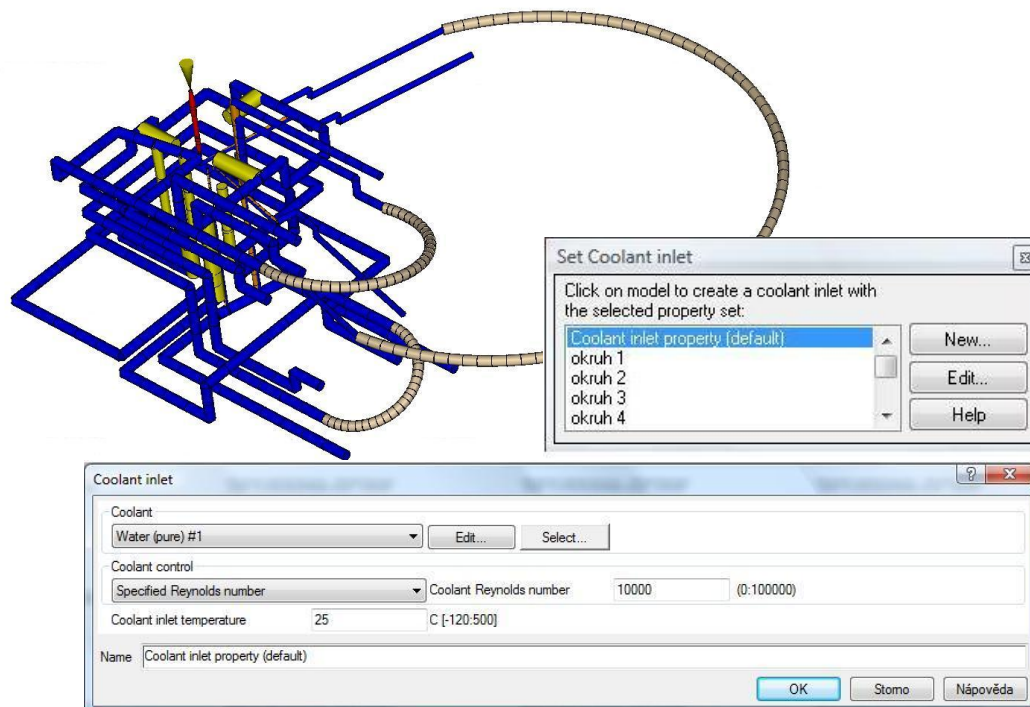


Obr. 3.9: Úprava chladicího systému (přepážka, trubička)



Obr. 3.10: Přiřazení a nastavení vlastností jednotlivým prvkům

Takto připravené temperační kanály byly spojeny to chladicích okruhů pomocí prvku typu hadice (Hose). Těmto okruhům byly přiřazeny hodnoty o typu proudícího média, průtoku, teplotě a místě vstupu proudící tekutiny (obr. 3.11).



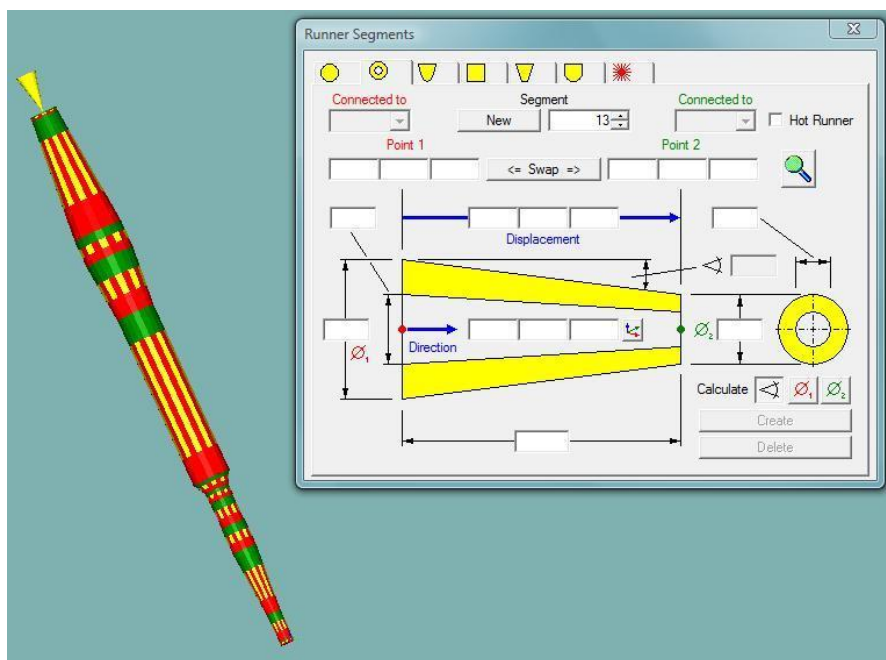
Obr. 3.11: Chladicí okruhy v AMI

### 3.2.3 Příprava vtokového systému

#### 3.2.3.1 Příprava vtokového systému v Cadmouldu

Vtoková soustava je vytvářena pomocí podobného panelu nástrojů jako chladicí systém. Nejprve je zvolen průřez vtokového systému a následně jsou vyplněny všechny rozměry týkající se vytvářené části vtokového kanálu. Horká vtoková soustava byla vytvářena pomocí stejného panelu nástrojů pouze je zaškrtnuta funkce Hot Runner (obr. 3.12).

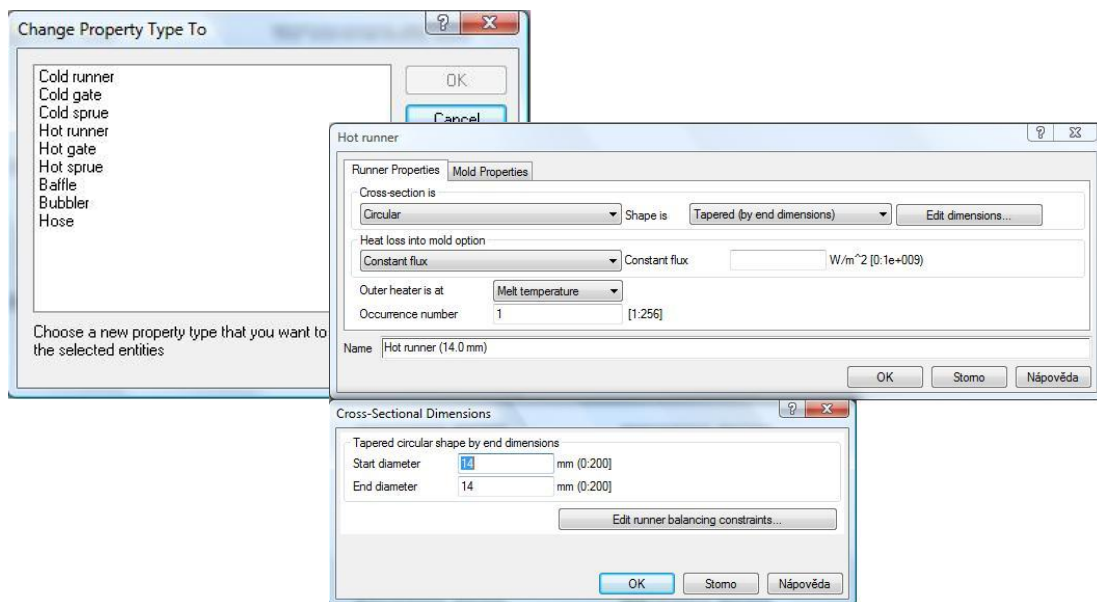




Obr. 3.12: Tvorba vtokové systému

### 3.2.3.2 Příprava vtokového systému v AMI

V programu AMI je vtoková soustava vytvářena tak, že je nejprve připraven tvar této vtokové soustavy ve formě čar, které tvoří osy vtokové soustavy. Těmto čarám je pak přiřazen typ, vlastnosti a rozměry (obr. 3.13). Poté je vygenerována síť, která popisuje tuto vtokovou soustavu.

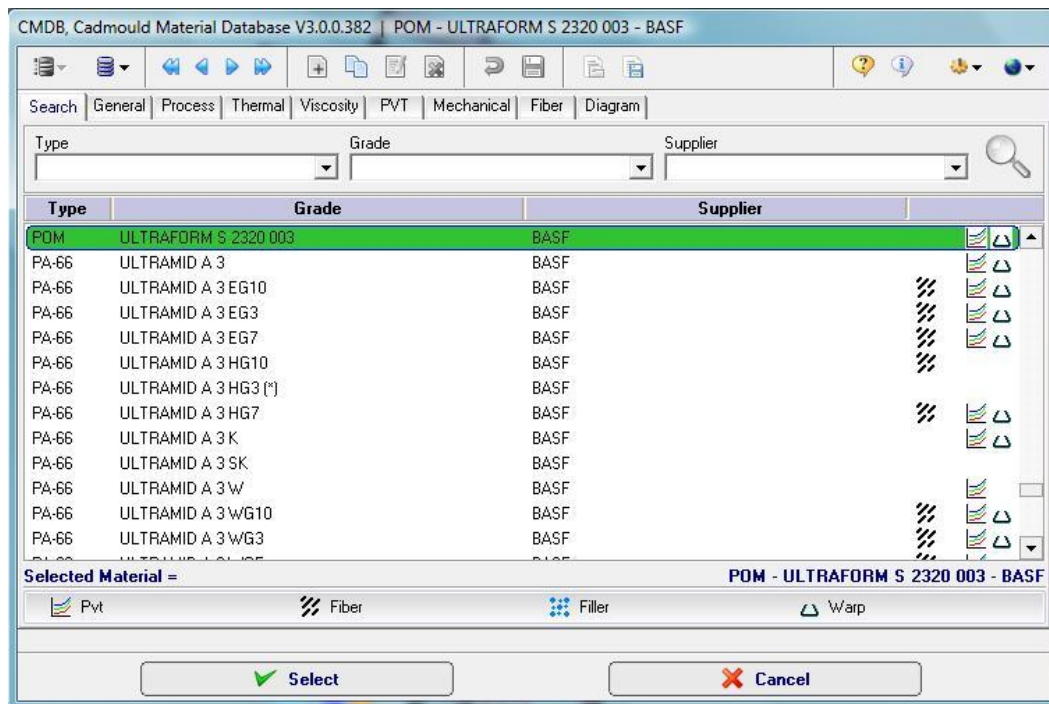


Obr. 3.13: Výběr typu + definování rozměrů

### 3.2.4 Zadávání procesních parametrů

#### 3.2.4.1 Volba materiálu v Cadmouldu

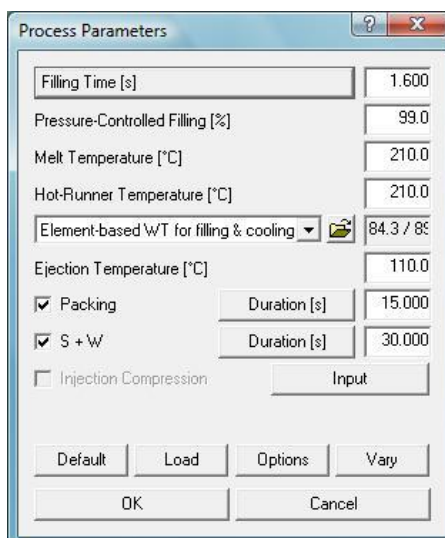
Materiál lze vybírat podle parametrů: typ materiálu, název materiálu nebo podle výrobce (obr. 3.14)



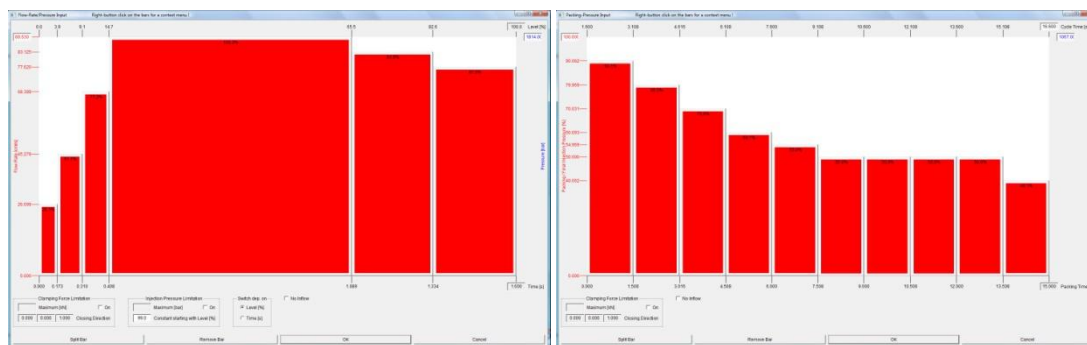
Obr. 3.14: Výběr materiálu

#### 3.2.4.2 Nastavení procesních parametrů v Cadmouldu

Procesní parametry se nastavují v přehledné tabulce (obr. 3.15). Průběh vstřikování a dotlaku pomocí grafu, kdy jednoduše tahem myši nastavíme požadovaný průběh (obr. 3.16)



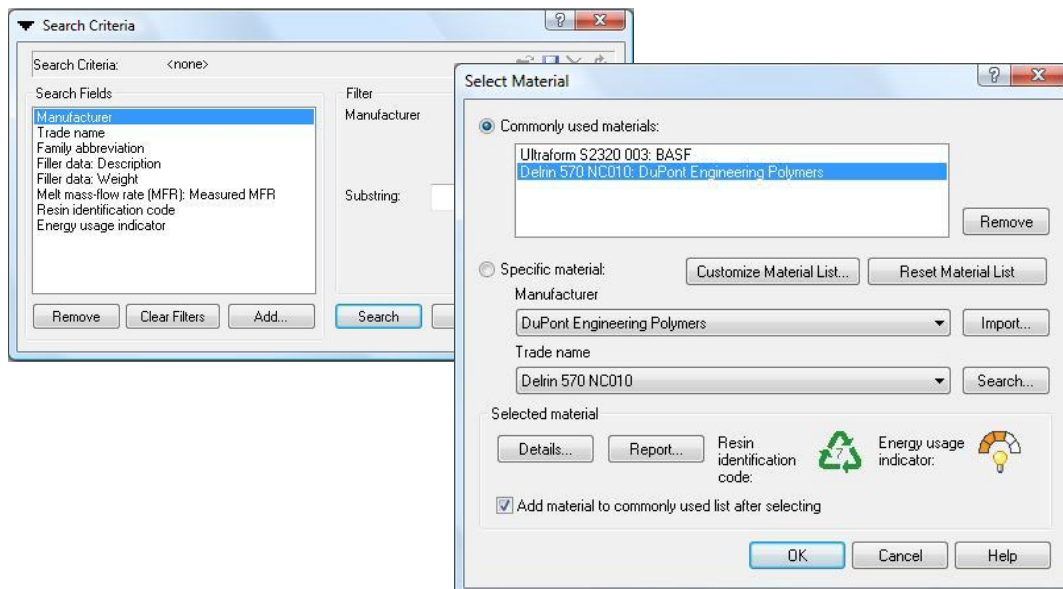
Obr. 3.15: Nastavení procesních parametrů



Obr. 3.16: Průběh vstřikování (vlevo) a průběh dotlaku (vpravo)

### 3.2.4.3 Volba materiálu v AMI

AMI umožňuje snadné vyhledávání pomocí různých parametrů: typ materiálu, druh plniva, obsah plniva, ... (obr. 3.17)

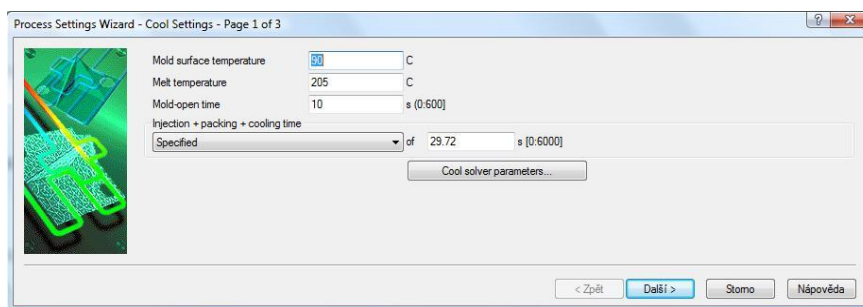


Obr. 3.17: Výběr materiálu

### 3.2.4.4 Nastavení procesních parametrů v AMI

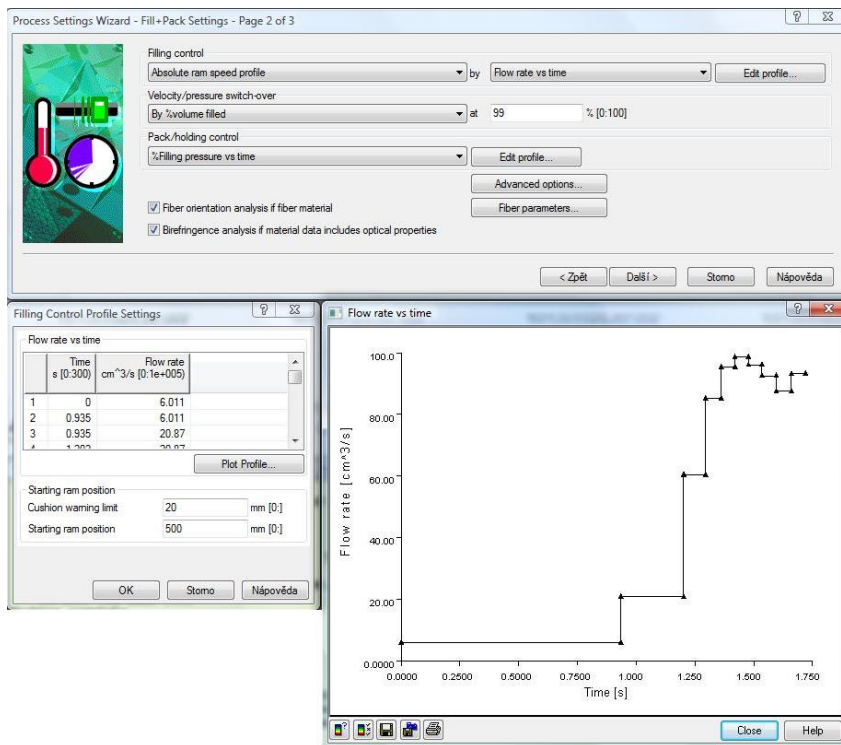
Procesní parametry se nastavují v několika krocích:

1. teplota formy, teplota taveniny, čas otevření formy a čas cyklu bez manipulačních časů (obr. 3.19)



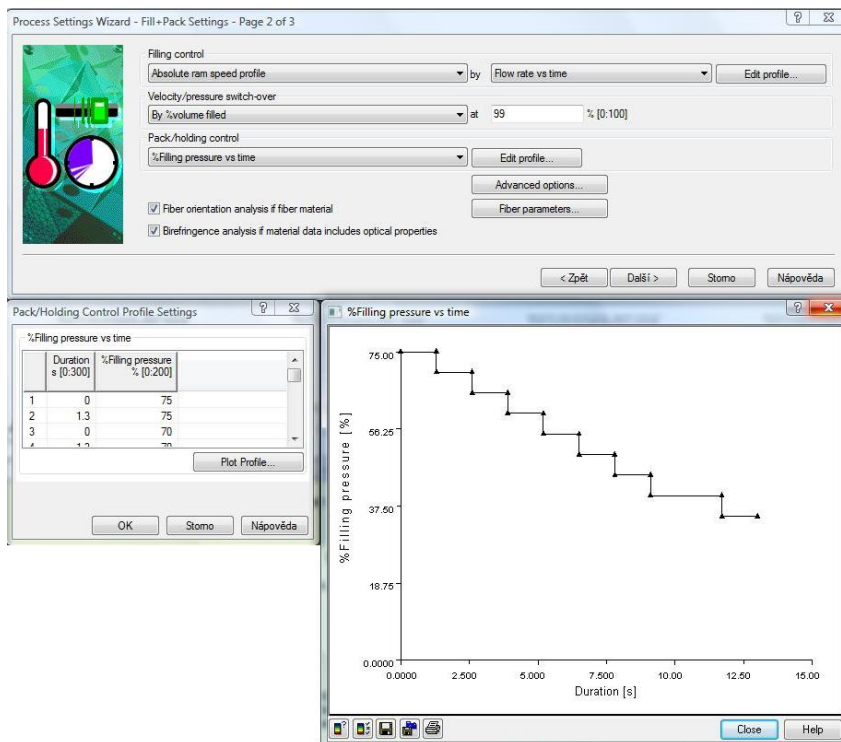
Obr. 3.19: Procesní parametry 1. krok

- nastavení průběhu vstřikování se provádí zadáváním dat do tabulky, podle které se vykreslí graf (obr. 3.20)



Obr. 3.20: Procesní parametry 2. krok

- nastavení průběhu dotlaku se provádí zadáváním dat do tabulky, podle které se vykreslí graf (obr. 3.21)



Obr. 3.21: Procesní parametry 3. krok



### 3.3 Porovnávání díl Topf Audi FSI

#### 3.3.1 Informace pro simulace

##### 3.3.1.1 Materiál

Materiálový list je přiložen v příloze.

*Název:* Ultraform S2320 003

*Typ:* POM

*Výrobce:* BASF

##### 3.3.1.2 Procesní parametry

Procesní parametry odpovídají skutečným vstřikovacím parametrům.

*Doba plnění:* 1,6 s

*Přepnutí na dotlak:* 99%

*Teplota taveniny:* 210 °C

*Teplota horkého kanálu:* 210 °C

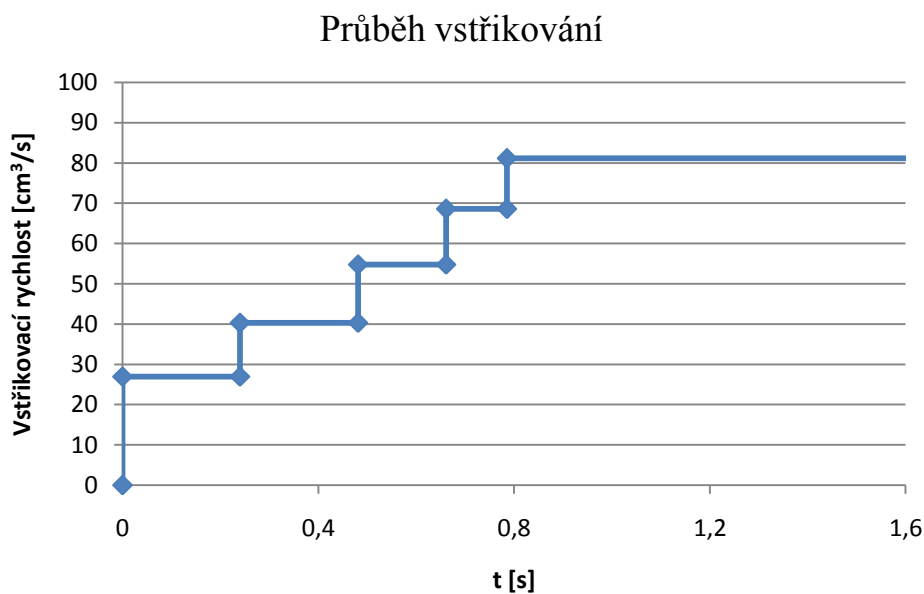
*Teplota formy:* 84,3/89,1 °C

*Teplota vyhození:* 110 °C

*Doba dotlaku:* 15 s

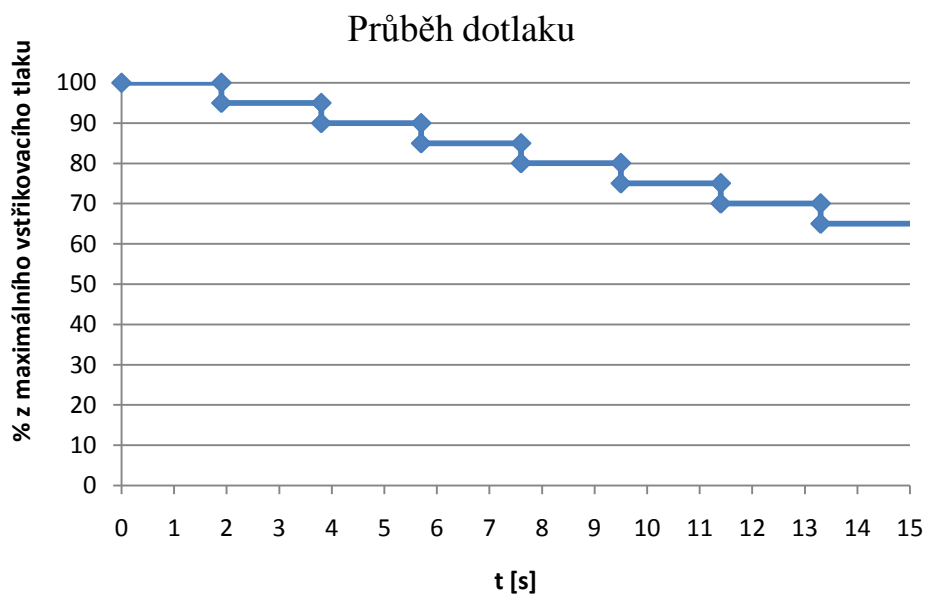
*Čas chlazení:* 30 s

Průběh vstřikování (obr. 3.22):



Obr. 3.22: Průběh vstřikování

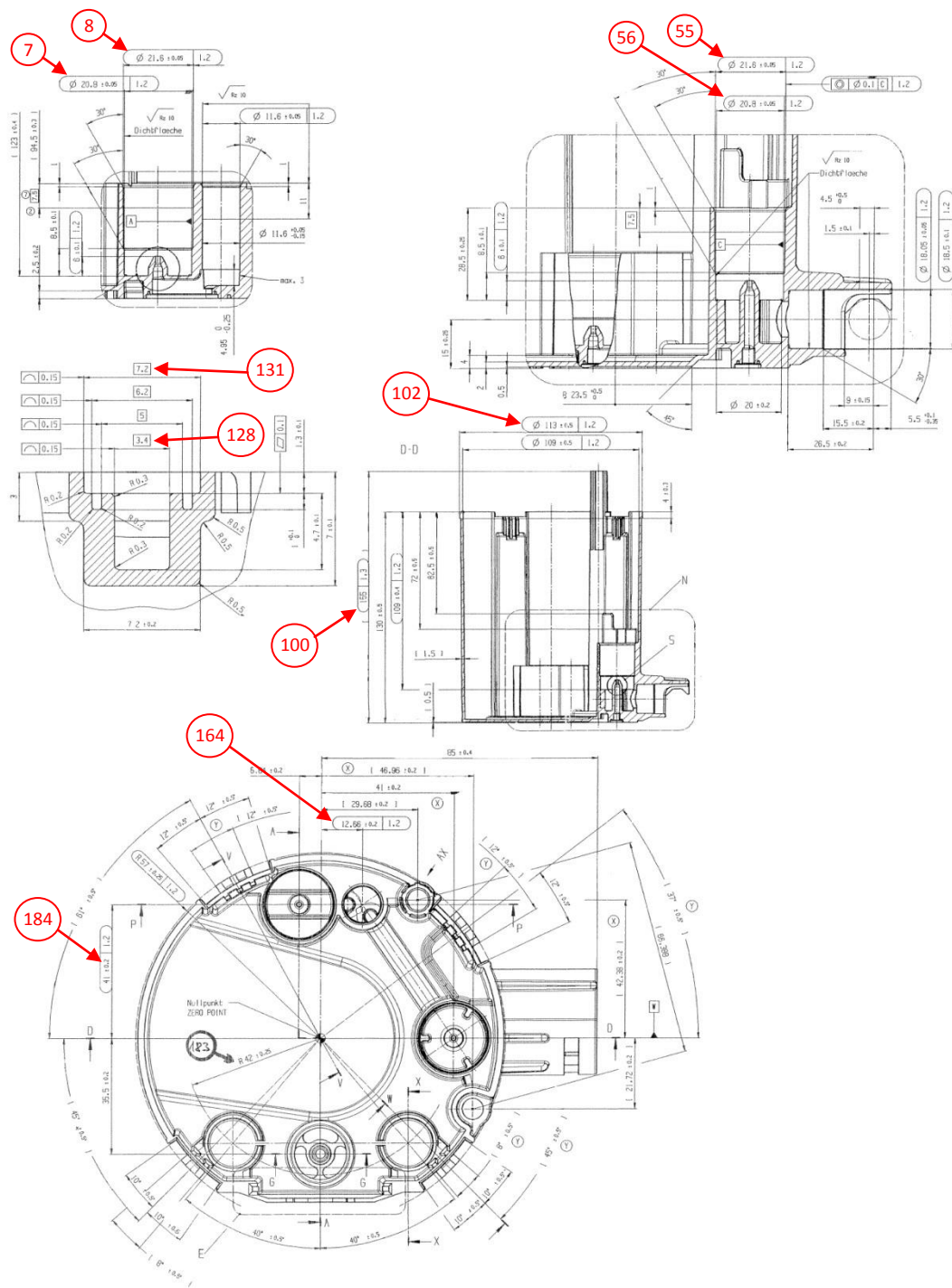
Průběh dotlaku (obr. 3.23):



Obr. 3.23: Průběh dotlaku

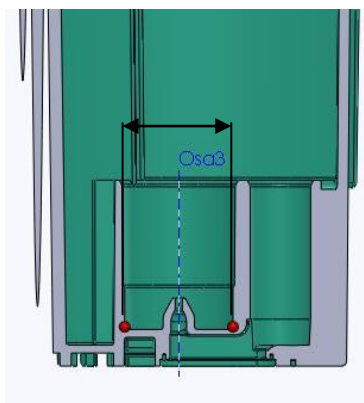
### 3.3.2 Porovnání rozměrů

Tento díl je porovnán pomocí proměření předem vytipovaných rozměrů 7, 8, 55, 56, 100, 102, 164, 184, 128 (v řezech T-T a U-U) a 131 (v řezech T-T a U-U). Rozměry 7, 8, 55 a 56 jsou proměřeny ve dvou na sebe kolmých rovinách. Tyto rozměry jsou ukázány na následujícím obrázku, jako výřezy z výkresu (obr. 3.24).



Obr. 3.24: Část výkresu s proměřovanými rozměry

### 3.3.2.1 Rozměr 7 v rovině XZ

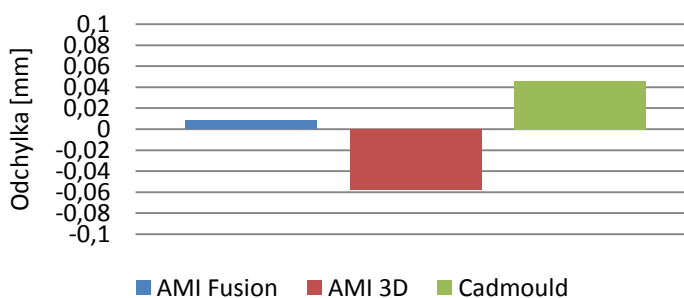


Obr. 3.25: Kontrolovaný rozměr č. 7 v rovině XZ

Tab. 3.1: Hodnoty rozměru č. 7 v rovině XZ [mm]

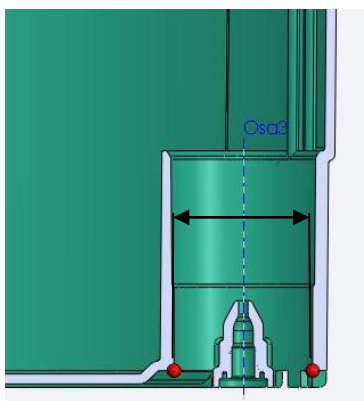
Rozměr podle výkresu:		20,8 ±0,05		
Rozměr naskenovaného dílu:		20,763		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould	
rozměr	20,771	20,705	20,809	
odchylka	0,008	-0,058	0,046	

Rozměr č. 7 v rovině XZ



Obr. 3.26: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.3.2.2 Rozměr 7 v rovině YZ

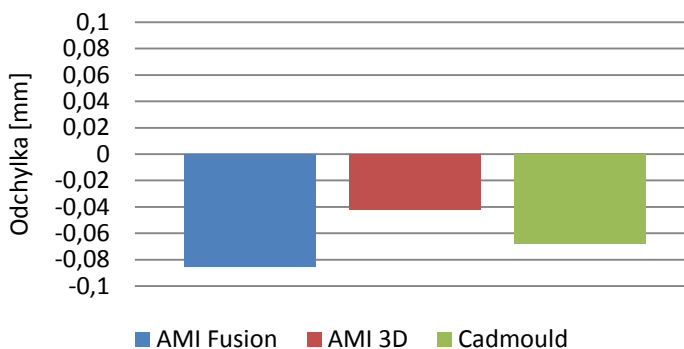


Obr. 3.27: Kontrolovaný rozměr č. 7 v rovině YZ

Tab. 3.2: Hodnoty rozměru č. 7 v rovině YZ [mm]

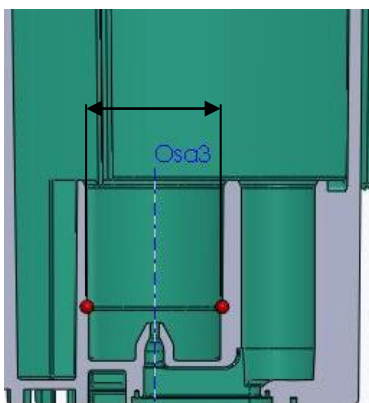
Rozměr podle výkresu:		20,8 ±0,05		
Rozměr naskenovaného dílu:		20,66		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould	
rozměr	20,575	20,618	20,592	
odchylka	-0,085	-0,042	-0,068	

Rozměr č. 7 v rovině YZ



Obr. 3.28: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.3.2.3 Rozměr 8 v rovině XZ

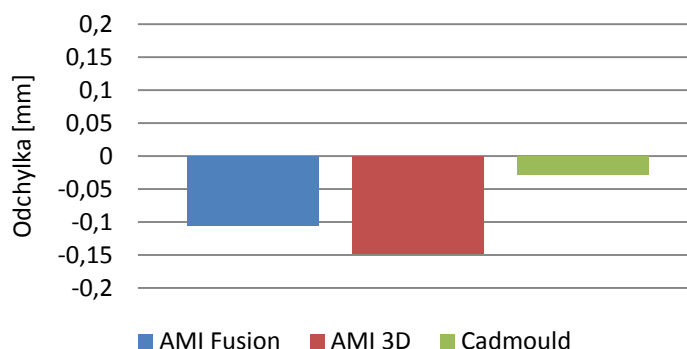


Obr. 3.29: Kontrolovaný rozměr č. 8 v rovině XZ

Tab. 3.3: Hodnoty rozměru č. 8 v rovině XZ [mm]

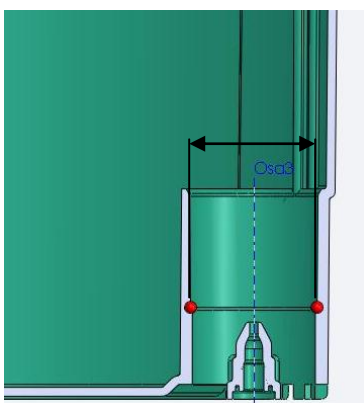
Rozměr podle výkresu:	21,6 ±0,05		
Rozměr naskenovaného dílu:	21,512		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	21,406	21,364	21,484
odchylka	-0,106	-0,148	-0,028

Rozměr č. 8 v rovině XZ



Obr. 3.30: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.3.2.4 Rozměr 8 v rovině YZ

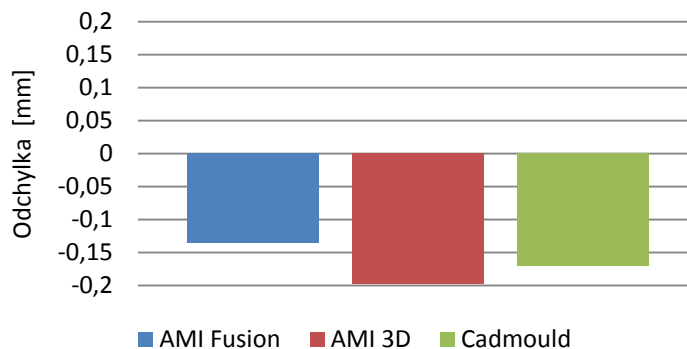


Obr. 3.31: Kontrolovaný rozměr č. 8 v rovině YZ

Tab. 3.4: Hodnoty rozměru č. 8 v rovině YZ [mm]

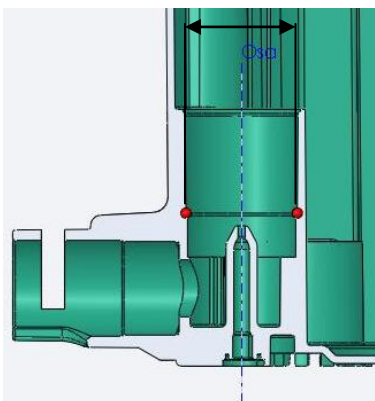
Rozměr podle výkresu:	21,6 ±0,05		
Rozměr naskenovaného dílu:	21,491		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	21,355	21,293	21,320
odchylka	-0,136	-0,198	-0,171

Rozměr č. 8 v rovině YZ



Obr. 3.32: Graf odchylek od reálného dílu

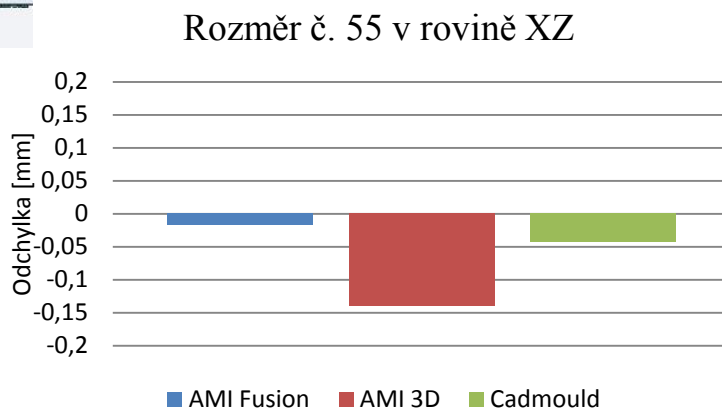
### 3.3.2.5 Rozměr 55 v rovině XZ



Obr. 3.33: Kontrolovaný rozměr č. 55 v rovině XZ

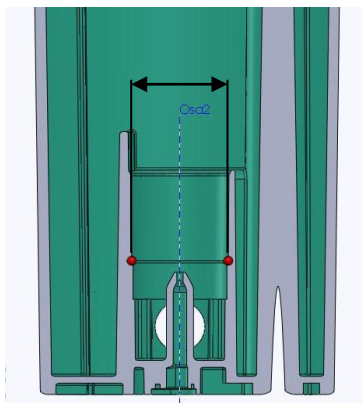
Tab. 3.5: Hodnoty rozměru č. 55 v rovině XZ [mm]

Rozměr podle výkresu:	21,6 ±0,05		
Rozměr naskenovaného dílu:	21,502		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	21,485	21,362	21,459
odchylka	-0,017	-0,140	-0,043



Obr. 3.34: Graf odchylek od reálného dílu

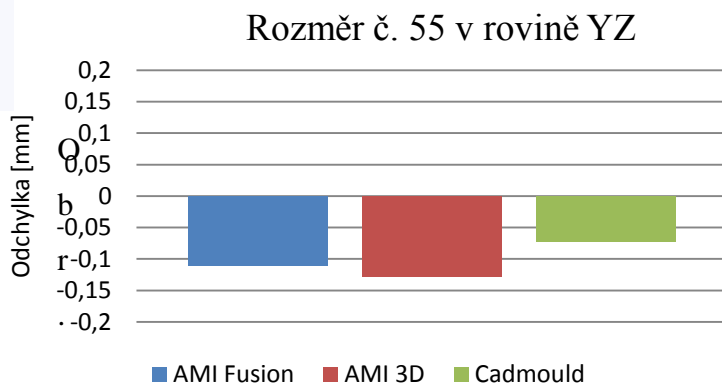
### 3.3.2.6 Rozměr 55 v rovině YZ



Obr. 3.35: Kontrolovaný rozměr č. 55 v rovině YZ

Tab. 3.6: Hodnoty rozměru č. 55 v rovině YZ [mm]

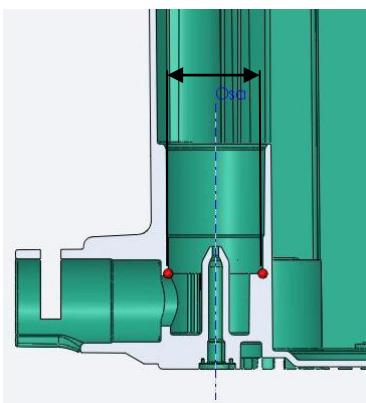
Rozměr podle výkresu:	21,6 ±0,05		
Rozměr naskenovaného dílu:	21,506		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	21,395	21,378	21,434
odchylka	-0,111	-0,128	-0,072



3

Obr. 3.36: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.3.2.7 Rozměr 56 v rovině XZ

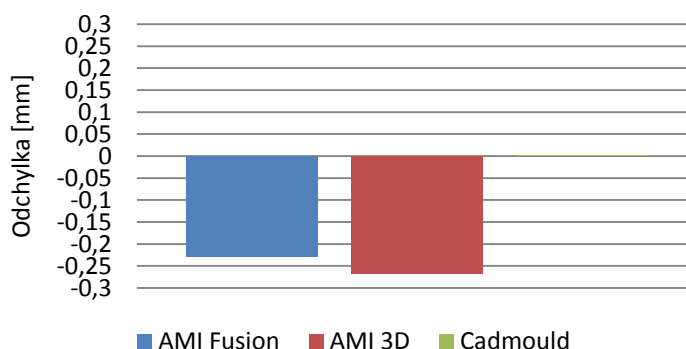


Obr. 3.37: Kontrolovaný rozměr č. 56 v rovině XZ

Tab. 3.7: Hodnoty rozměru č. 56 v rovině XZ [mm]

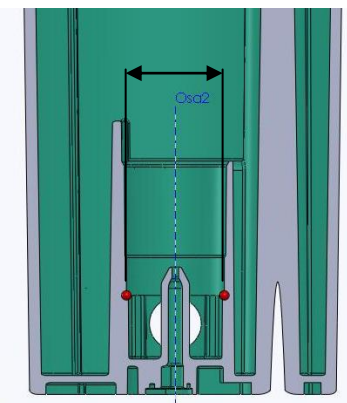
Rozměr podle výkresu:		20,8 ±0,05	
Rozměr naskenovaného dílu:		20,777	
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	20,548	20,509	20,778
odchylka	-0,229	-0,268	0,001

Rozměr č. 56 v rovině XZ



Obr. 3.38: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.3.2.8 Rozměr 56 v rovině YZ

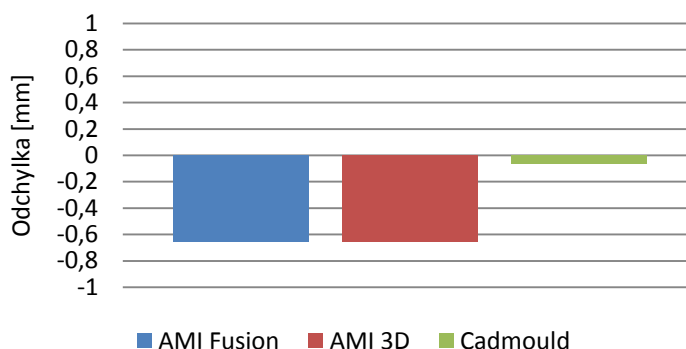


Obr. 3.39: Kontrolovaný rozměr č. 56 v rovině YZ

Tab. 3.8: Hodnoty rozměru č. 56 v rovině YZ [mm]

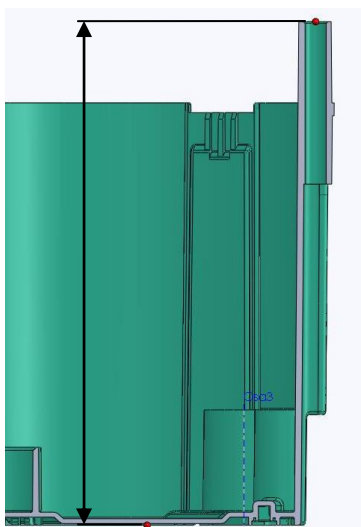
Rozměr podle výkresu:		20,8±0,05	
Rozměr naskenovaného dílu:		21,907	
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	20,250	20,253	20,841
odchylka	-0,657	-0,654	-0,066

Rozměr č. 56 v rovině YZ



Obr. 3.40: Graf odchylek od reálného dílu

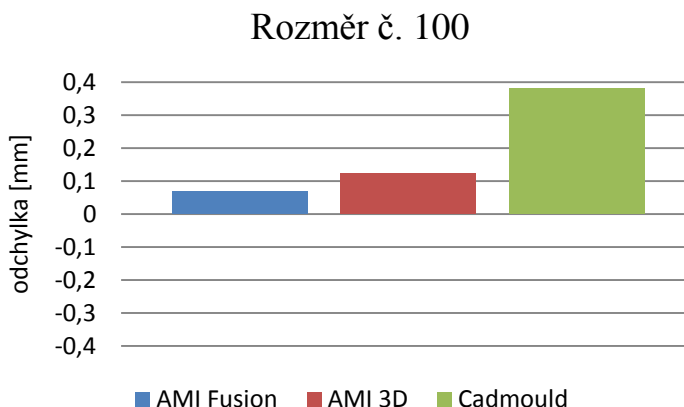
### 3.3.2.9 Rozměr 100



Obr. 3.41: Kontrolovaný rozměr č. 100

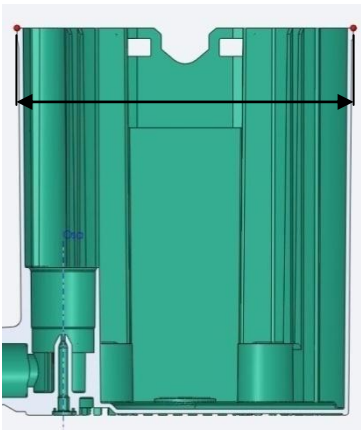
Tab. 3.9: Hodnoty rozměru č. 100 [mm]

Rozměr podle výkresu:	155		
Rozměr naskenovaného dílu:	155,003		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	155,072	155,125	155,382
odchylka	0,069	0,122	0,379



Obr. 3.42: Graf odchylek od reálného dílu

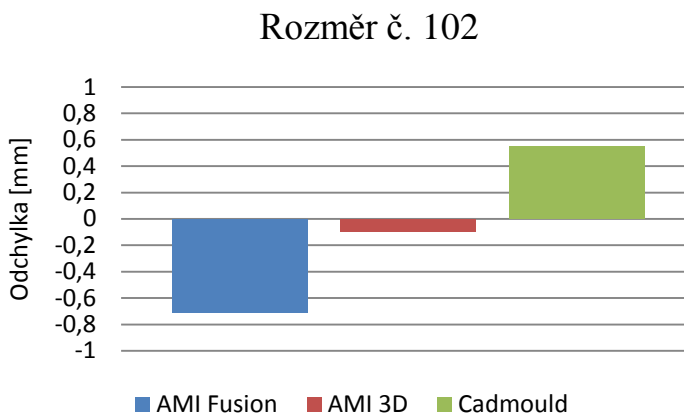
### 3.3.2.10 Rozměr 102



Obr. 3.43: Kontrolovaný rozměr č. 102

Tab. 3.10: Hodnoty rozměru č. 102 [mm]

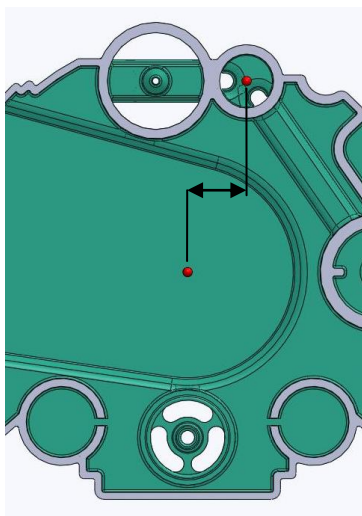
Rozměr podle výkresu:	113 ±0,5		
Rozměr naskenovaného dílu:	112,422		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	111,711	112,323	112,969
odchylka	-0,711	-0,099	0,547



Obr. 3.44: Graf odchylek od reálného dílu



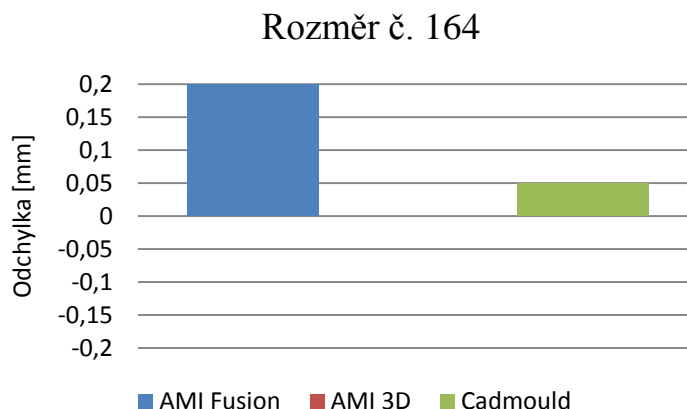
### 3.3.2.11 Rozměr 164



Obr. 3.45: Kontrolovaný rozměr č. 164

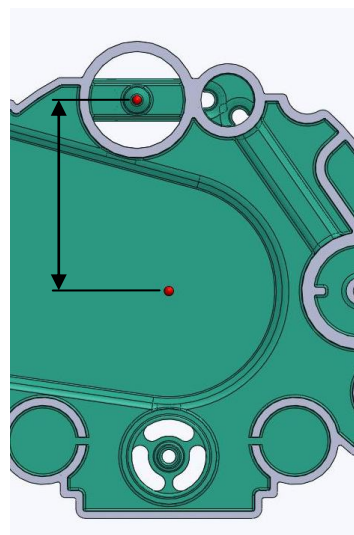
Tab. 3.11: Hodnoty rozměru č. 164 [mm]

Rozměr podle výkresu:	12,66 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:	12,6		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	12,8	12,6	12,65
odchylka	0,2	0,0	0,05



Obr. 3.46: Graf odchylek od reálného dílu

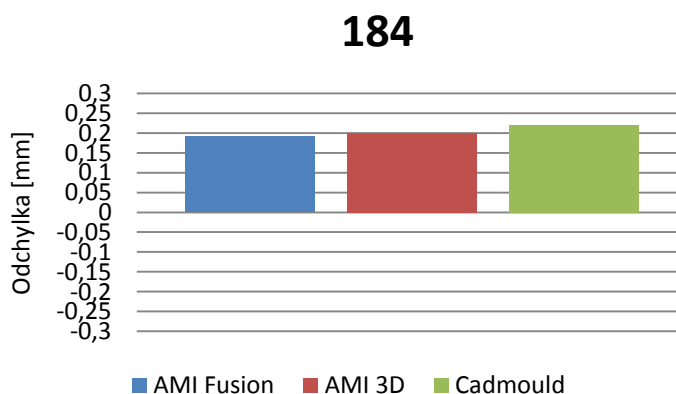
### 3.3.2.12 Rozměr 184



Obr. 3.47: Kontrolovaný rozměr č. 184

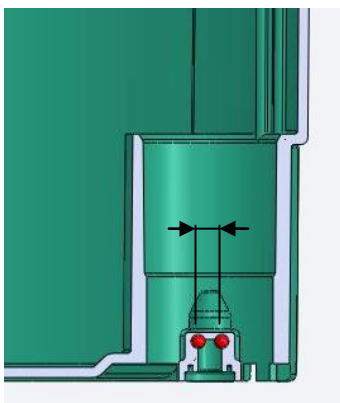
Tab. 3.12: Hodnoty rozměru č. 184 [mm]

Rozměr podle výkresu:	41 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:	40,784		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	40,976	40,984	41,004
odchylka	0,192	0,2	0,22



Obr. 3.48: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.3.2.13 Rozměr 128 v řezu T-T

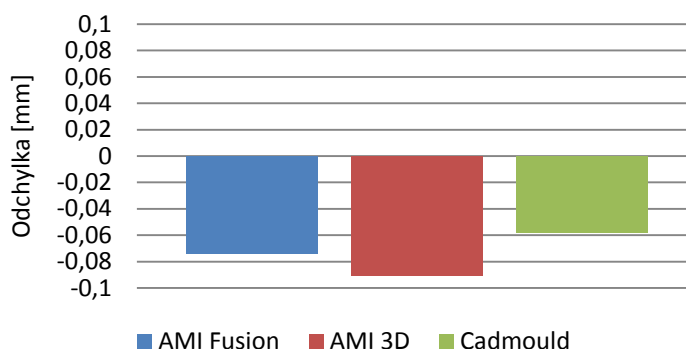


Obr. 3.49: Kontrolovaný rozměr č. 128 v řezu T-T

Tab. 3.13: Hodnoty rozměru č. 128 v řezu T-T [mm]

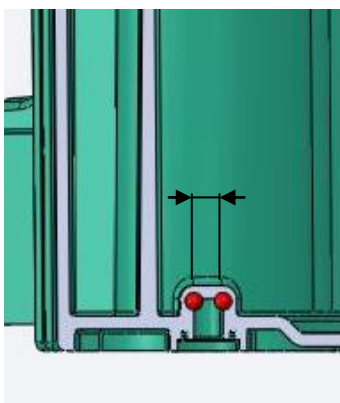
Rozměr podle výkresu:	3,4		
Rozměr naskenovaného dílu:	3,428		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	3,354	3,337	3,37
odchylka	-0,074	-0,091	-0,058

Rozměr č. 128 T-T



Obr. 3.50: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.3.2.14 Rozměr 128 v řezu U-U

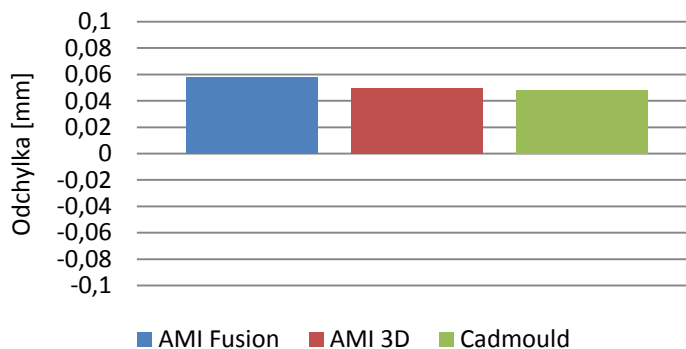


Obr. 3.51: Kontrolovaný rozměr č. 128 v řezu U-U

Tab. 3.14 Hodnoty rozměru č. 128 v řezu U-U [mm]

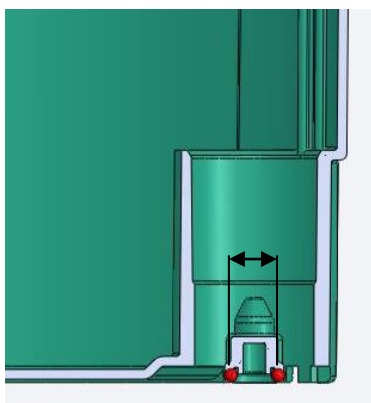
Rozměr podle výkresu:	3,4		
Rozměr naskenovaného dílu:	3,312		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	3,37	3,362	3,36
odchylka	0,058	0,05	0,048

Rozměr č. 128 U-U



Obr. 3.52: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.3.2.15 Rozměr 131v řezu T-T

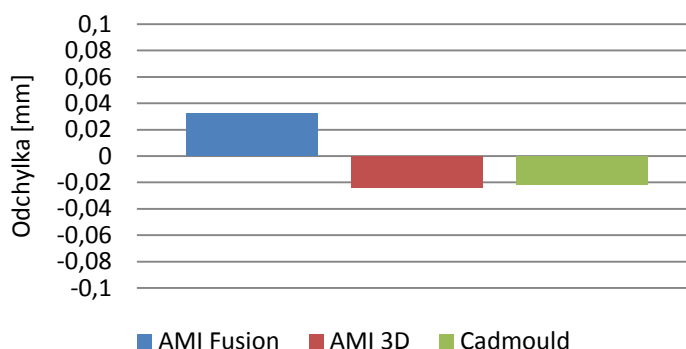


Obr. 3.53: Kontrolovaný rozměr č. 131 v řezu T-T

Tab. 3.15: Hodnoty rozměru č. 131 v řezu T-T [mm]

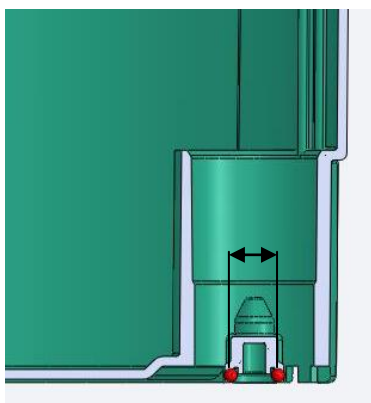
Rozměr podle výkresu:	7,2		
Rozměr naskenovaného dílu:	7,04		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	7,072	7,016	7,018
odchylka	0,032	-0,024	-0,022

Rozměr č. 131 T-T



Obr. 3.54: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.3.2.16 Rozměr 131v řezu U-U

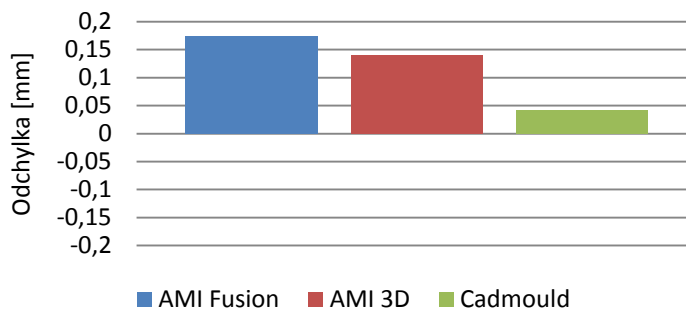


Obr. 3.55: Kontrolovaný rozměr č. 131 v řezu U-U

Tab. 3.16: Hodnoty rozměru č. 131 v řezu U-U [mm]

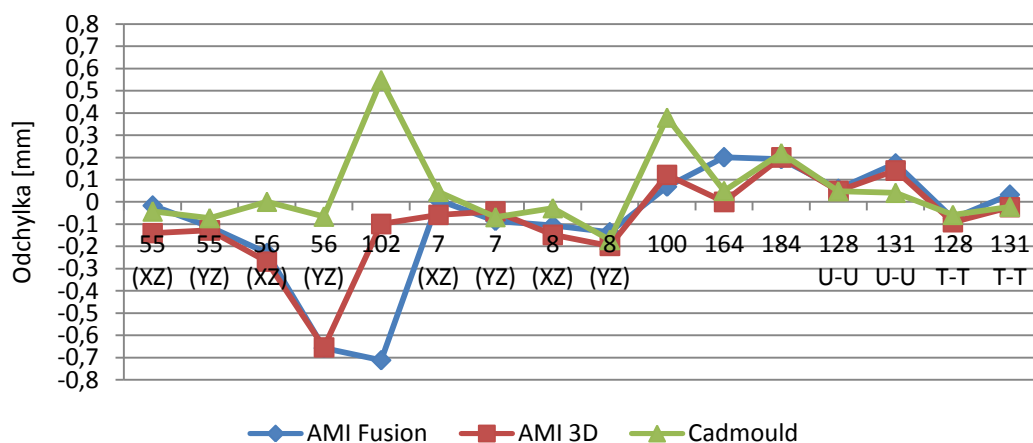
Rozměr podle výkresu:	7,2		
Rozměr naskenovaného dílu:	6,86		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	7,034	7,001	6,901
odchylka	0,174	0,141	0,041

Rozměr č. 131 U-U



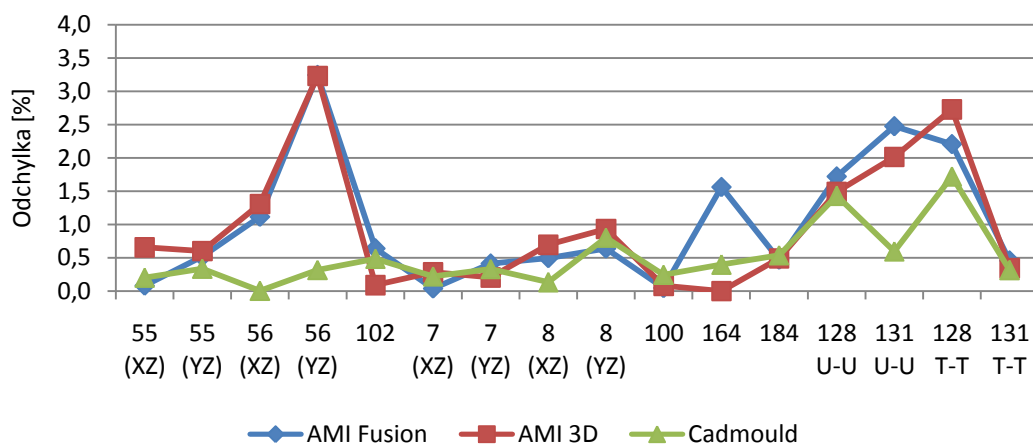
Obr. 3.56: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.3.2.17 Odchytky jednotlivých rozměrů [mm]



Obr. 3.57: Odchytky od jednotlivých rozměrů

### 3.3.2.18 Odchytky jednotlivých rozměrů [%]



Obr. 3.58: Odchytky od jednotlivých rozměrů

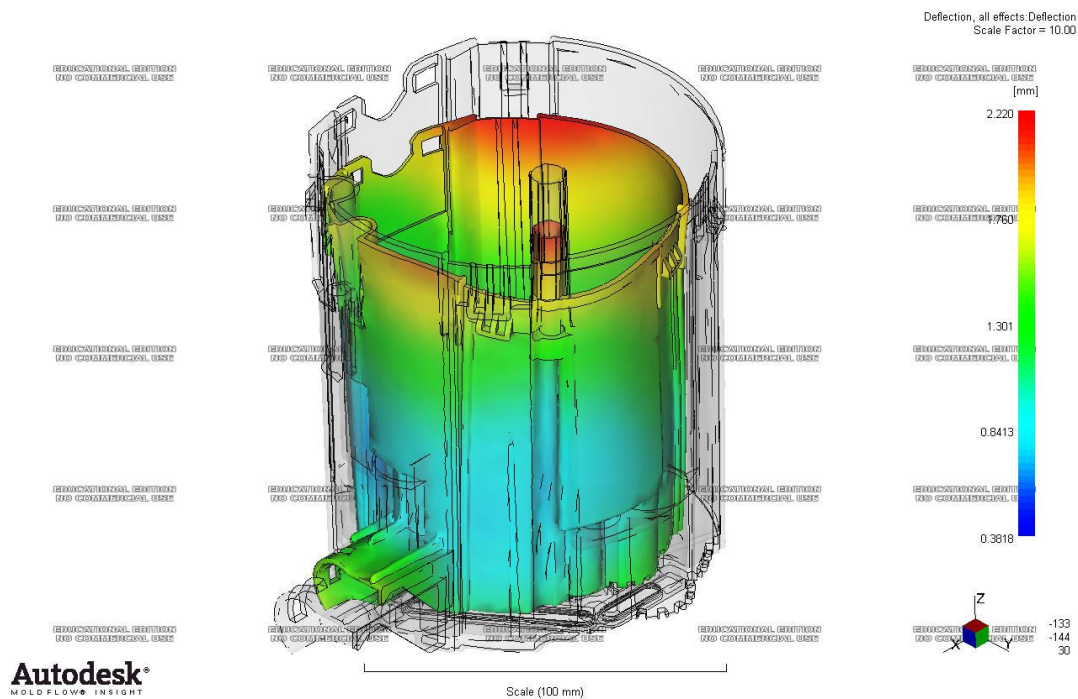
Tab. 3.17: Porovnání některých parametrů

	CADMOULD	AMI FUSION	AMI 3D
Čas na přípravu sítě	33m	21m	21m(fusion)+19m na 3D
Čas na úpravu sítě	0m	3h	3h(fusion)+0m na 3D
Čas na přípravu chlazení	30m	3h	3h(fusion)
Čas simulace	cca. 8h	1h 45m	8h 55m
Počet prvků	107352	43 014	687 724
Průměrná odchylka [%]	0,50	1,01	0,95

### 3.3.3 Maximální deformace

#### 3.3.3.1 AMI – 3D síť

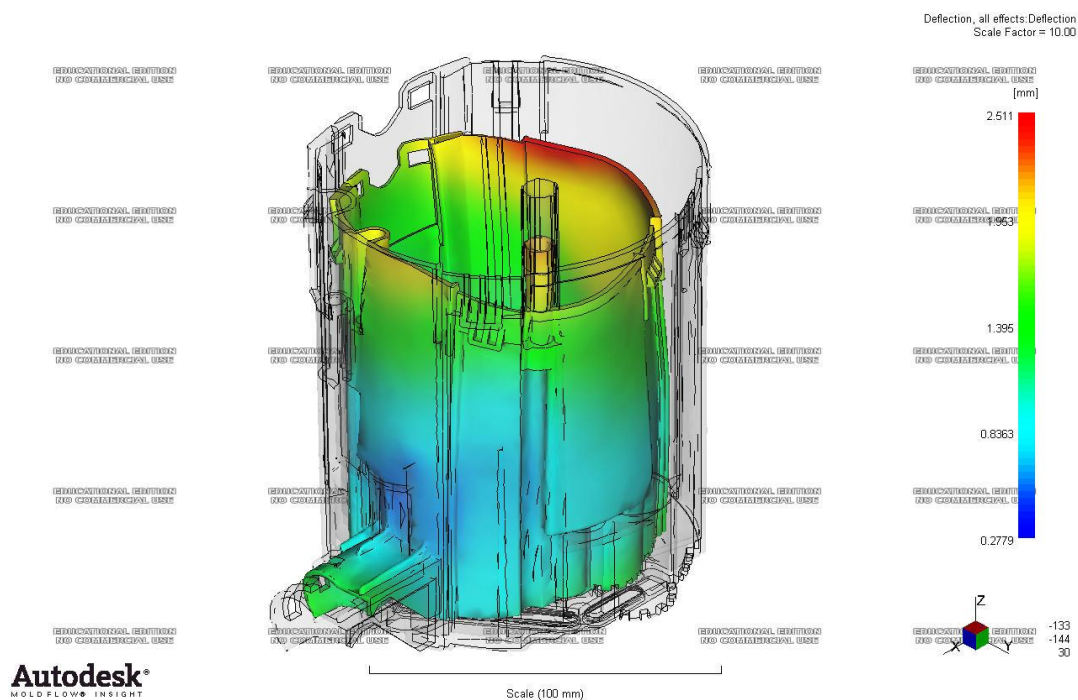
Hodnota maximální deformace: 2,220 mm (obr. 3.59)



Obr. 3.59: Maximální deformace M10:1

#### 3.3.3.2 AMI – Fusion síť

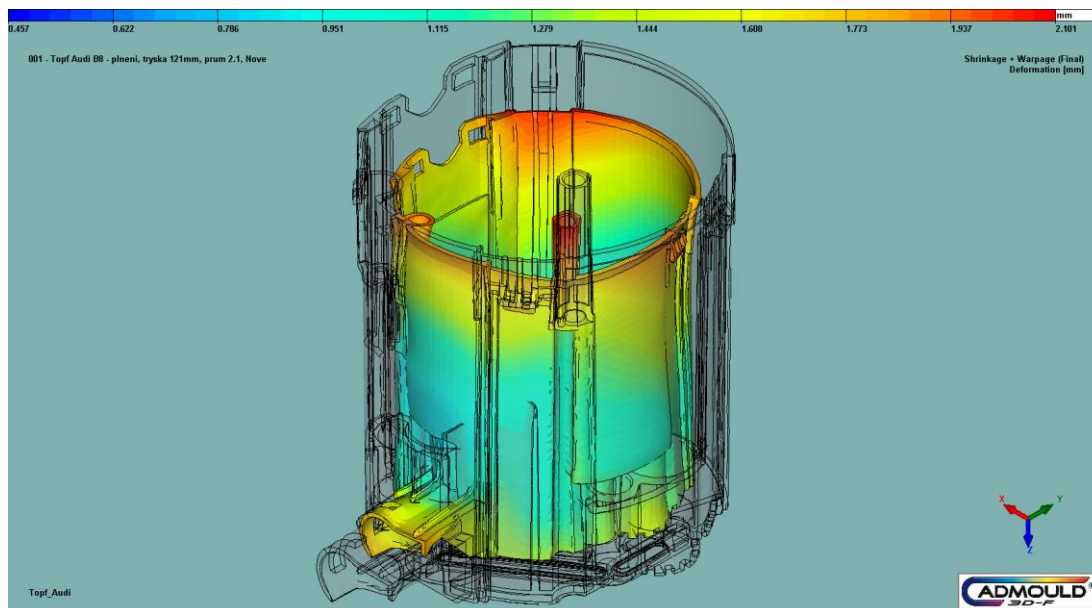
Hodnota maximální deformace: 2,511 mm (obr. 3.60)



Obr. 3.61: Maximální deformace M10:1

### 3.3.3.3 Cadmould

Hodnota maximální deformace: 2,101 mm (obr. 3.62)

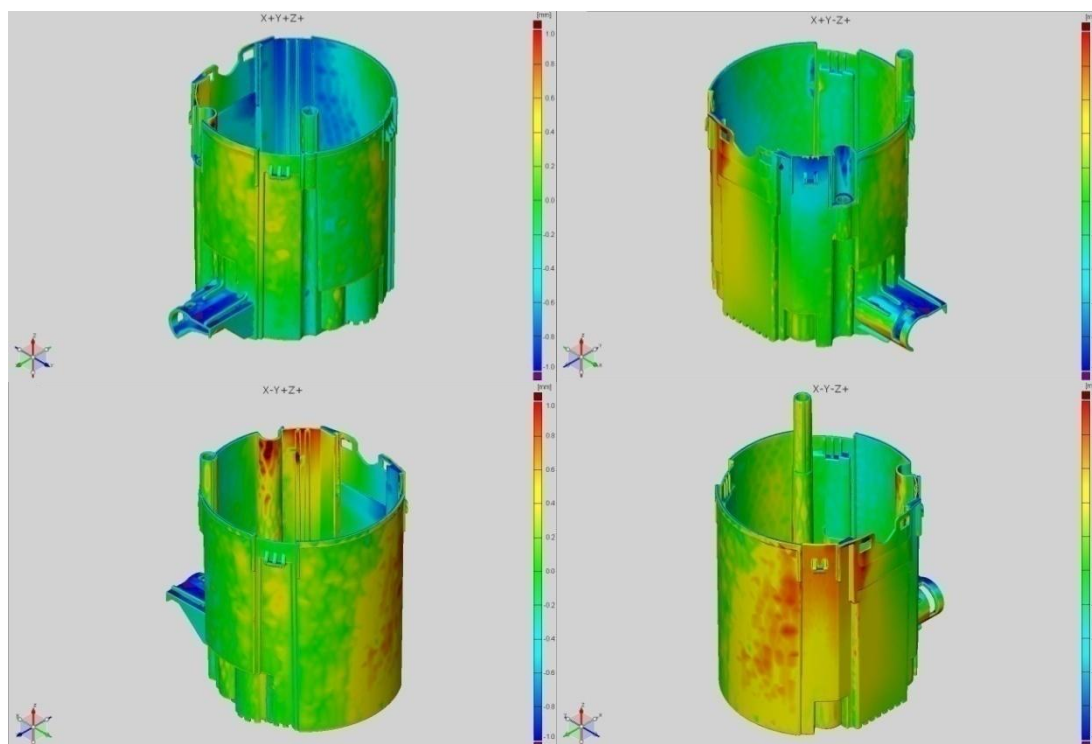


Obr. 3.62: Maximální deformace M10:1

### 3.3.4 Porovnání pomocí barevné mapy

#### 3.3.4.1 AMI 3D vs. realita

Porovnání deformovaného modelu z AMI s reálným dílem (obr. 3.63)

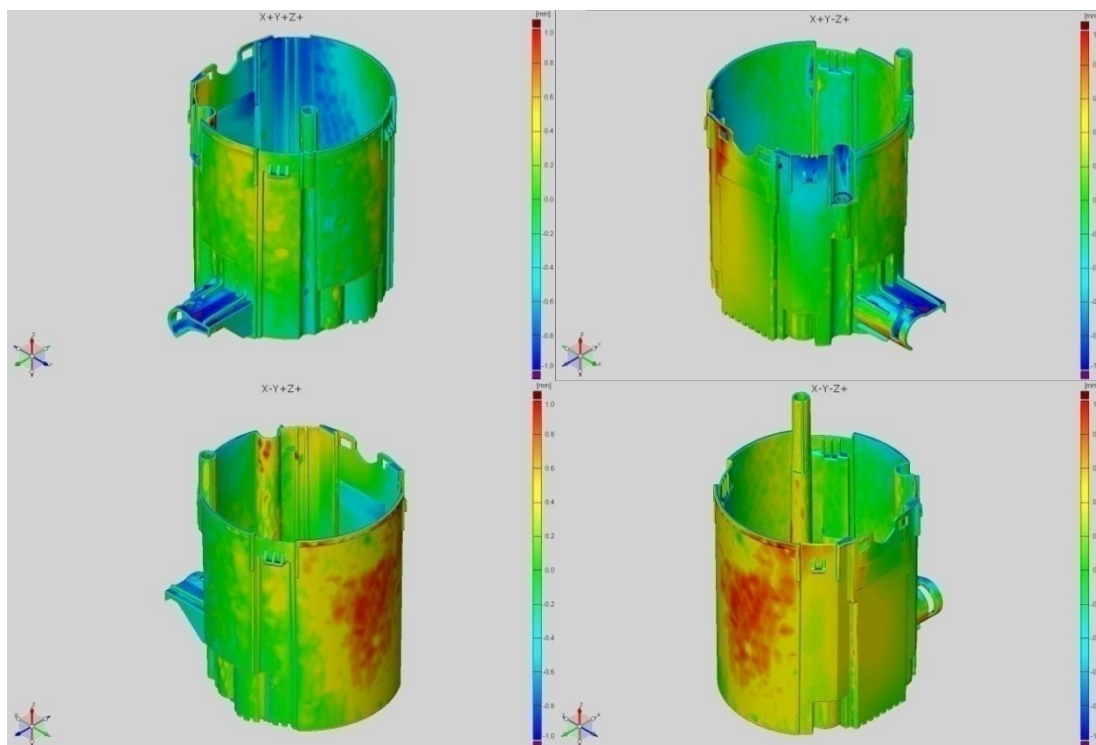


Obr. 3.63: Porovnání pomocí barevné mapy



### 3.3.4.1 AMI Fusion vs. realita

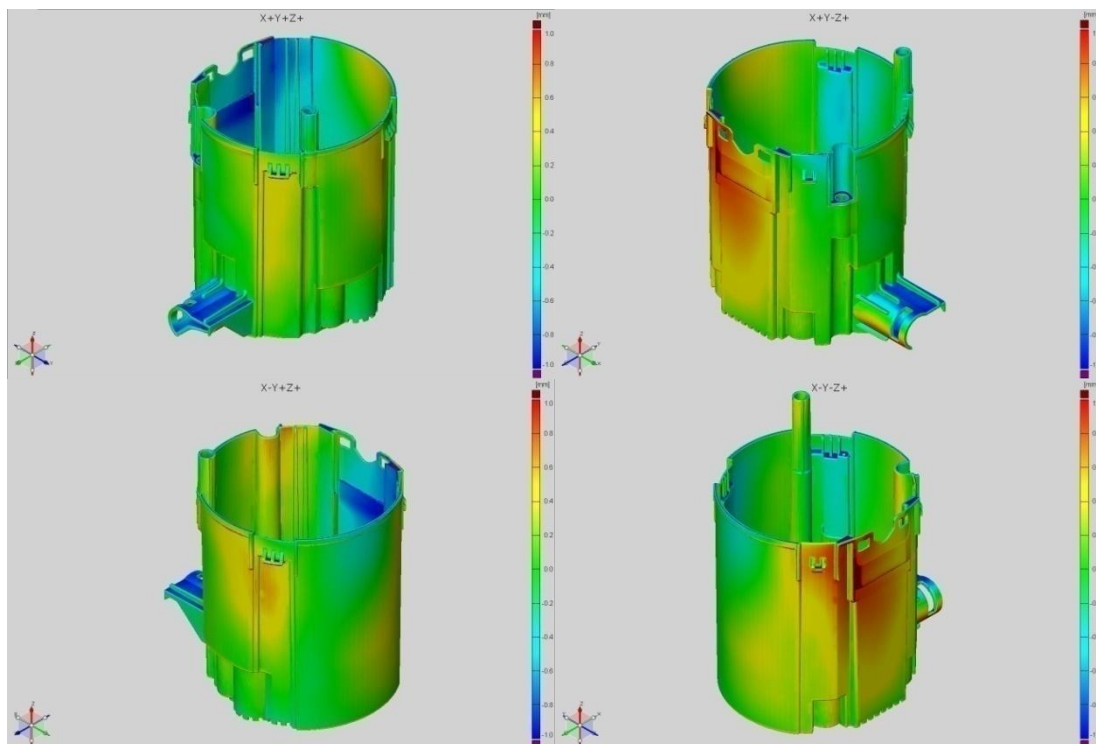
Porovnání deformovaného modelu z AMI s reálným dílem (obr. 3.64)



Obr. 3.64: Porovnání pomocí barevné mapy

### 3.3.4.1 Cadmould vs. realita

Porovnání deformovaného modelu z Cadmouldu s reálným dílem (obr. 3.65)



Obr. 3.65: Porovnání pomocí barevné mapy

### 3.4 Porovnávání díl Topfdeckel

#### 3.4.1 Informace pro simulace

##### 3.4.1.1 Materiál

Materiálový list je přiložen v příloze.

*Název:* Ultraform N2200 G43

*Typ:* POM

*Výrobce:* BASF

##### 3.4.1.2 Procesní parametry

Procesní parametry odpovídají skutečným vstřikovacím parametrům.

*Doba plnění:* 1,72 s

*Přepnutí na dotlak:* 99%

*Teplota taveniny:* 205 °C

*Teplota horkého kanálu:* 205 °C

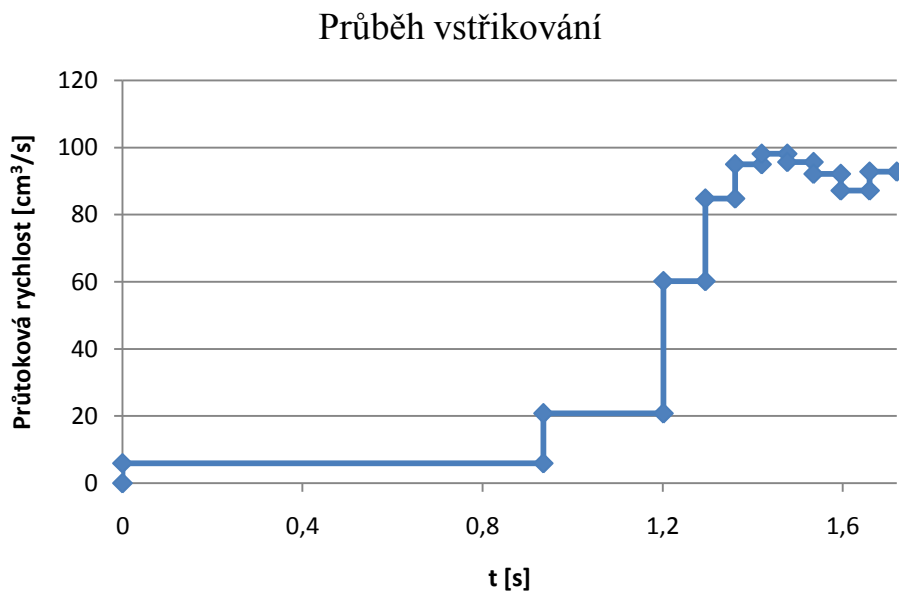
*Teplota formy:* 86,3/89,4 °C

*Teplota vyhození:* 125 °C

*Doba dotlaku:* 13 s

*Čas chlazení:* 28 s

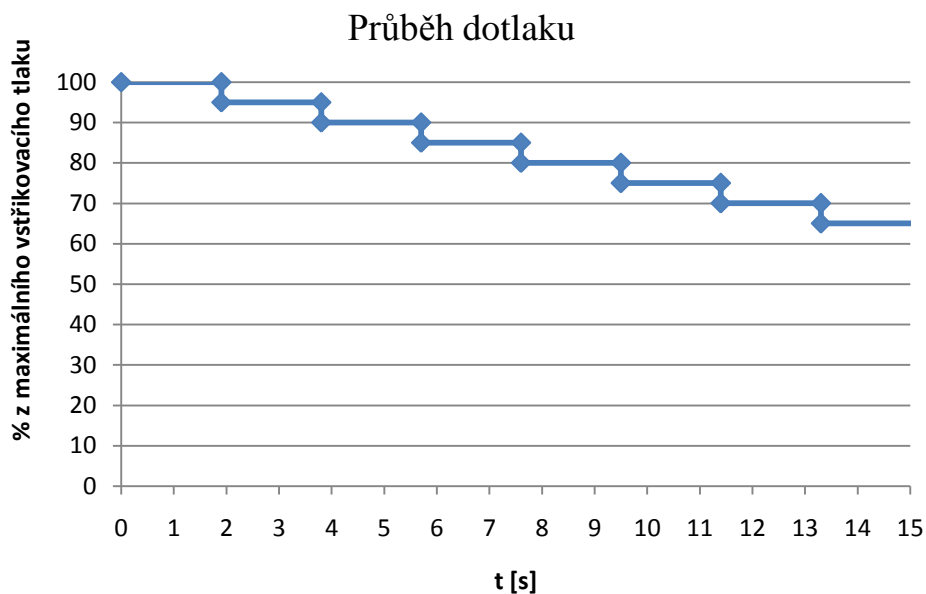
Průběh vstřikování (obr. 3.66):



Obr. 3.66: Průběh vstřikování



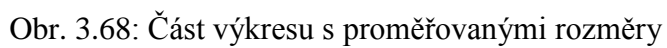
Průběh dotlaku (obr. 3.67):



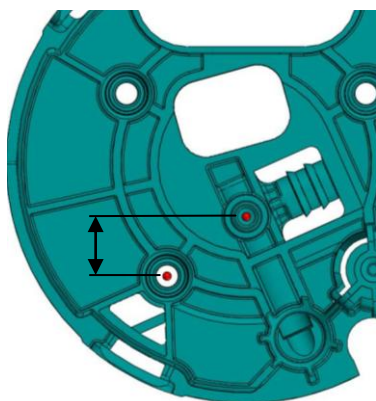
Obr. 3.67: Průběh dotlaku

### 3.4.2 Porovnání rozměrů

Tento díl je porovnán pomocí předem vytipovaných rozměrů 34, 35, 36, 38, 39, 49, 50, 53 98, 99, 100, 103 a 104. Tyto rozměry jsou ukázány na následujícím obrázku, jako výřezy z výkresu (obr. 3.68).



### 3.4.2.1 Rozměr 34

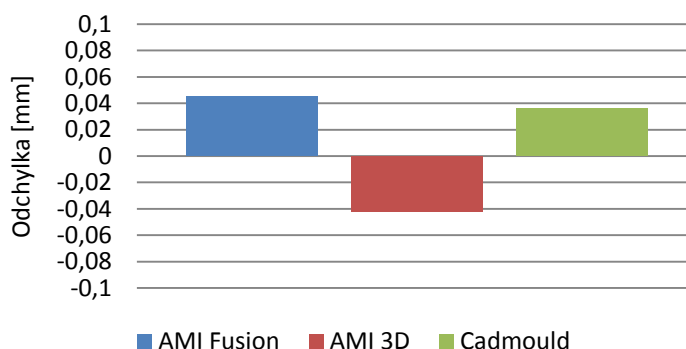


Obr. 3.69: Kontrolovaný rozměr č. 60

Tab. 3.28: Hodnoty rozměru č. 34 [mm]

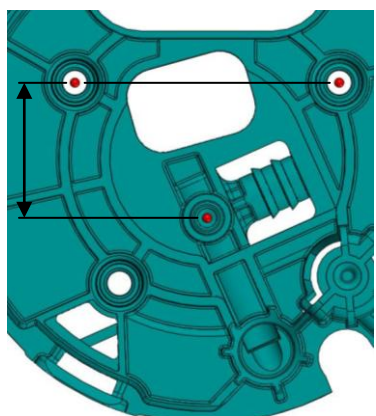
Rozměr podle výkresu:		13,962 ±0,1		
Rozměr naskenovaného dílu:		13,934		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould	
rozměr	13,979	13,892	13,970	
odchylka	0,045	-0,042	0,036	

Rozměr č. 34



Obr. 3.70: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.4.2.2 Rozměr 35

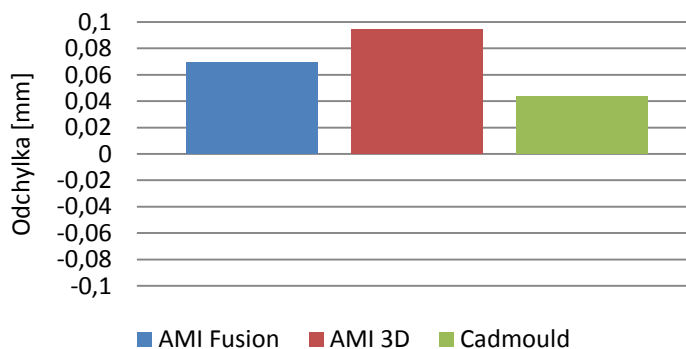


Obr. 3.71: Kontrolovaný rozměr č. 35

Tab. 3.39: Hodnoty rozměru č. 35 [mm]

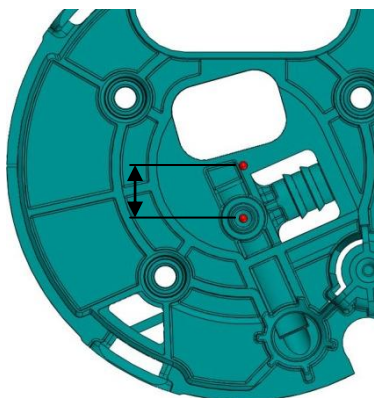
Rozměr podle výkresu:		28,91 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:		28,971		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould	
rozměr	29,040	29,065	29,015	
odchylka	0,069	0,094	0,044	

Rozměr č. 35



Obr. 3.72: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.4.2.3 Rozměr 36

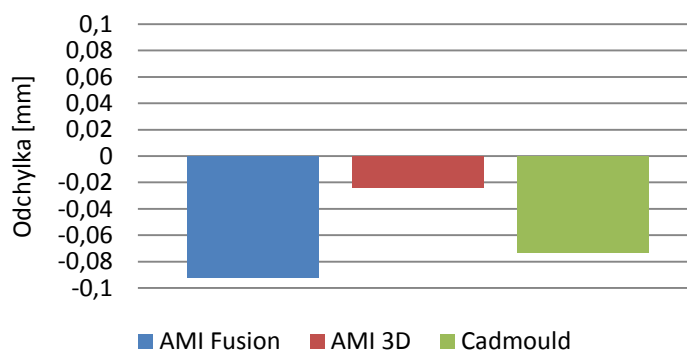


Obr. 3.73: Kontrolovaný rozměr č. 36

Tab. 3.20: Hodnoty rozměru č. 36 [mm]

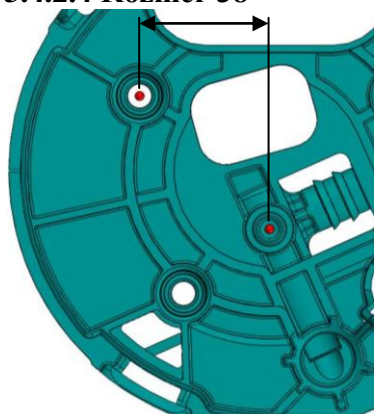
Rozměr podle výkresu:	12,66 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:	12,424		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	12,332	12,400	12,351
odchylka	-0,092	-0,024	-0,073

Rozměr č. 36



Obr. 3.74: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.4.2.4 Rozměr 38

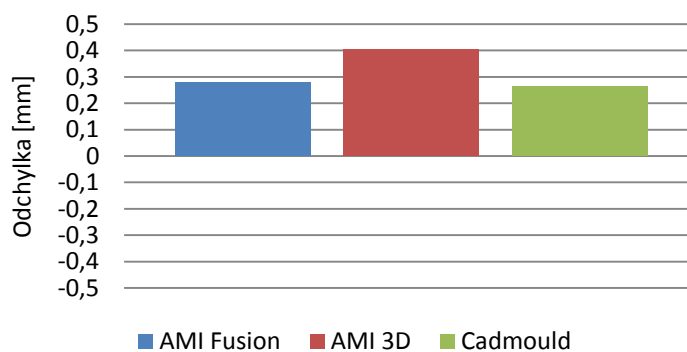


Obr. 3.75: Kontrolovaný rozměr č. 38

Tab. 3.21: Hodnoty rozměru č. 38 [mm]

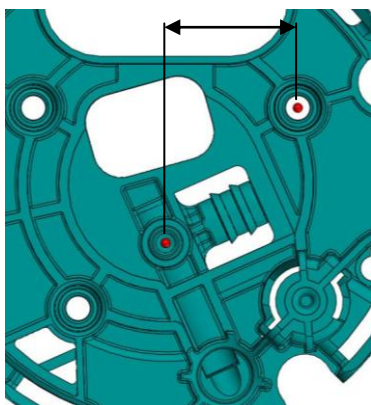
Rozměr podle výkresu:	28,146 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:	27,971		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	28,250	28,373	28,234
odchylka	0,279	0,402	0,263

Rozměr č. 38



Obr. 3.76: Graf odchylek od reálného dílu

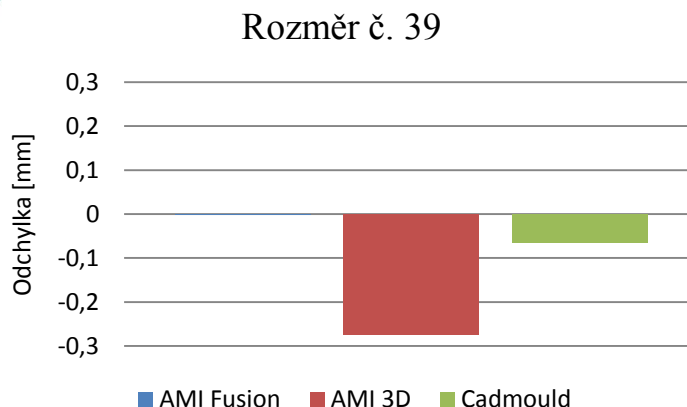
### 3.4.2.5 Rozměr 39



Obr. 3.77: Kontrolovaný rozměr č. 39

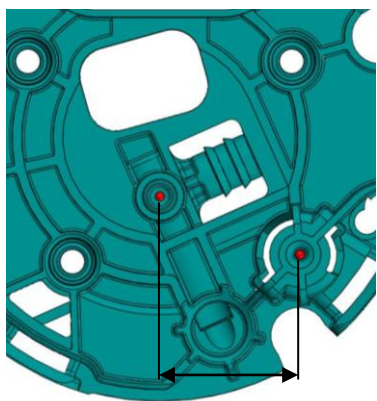
Tab. 3.22: Hodnoty rozměru č. 39 [mm]

Rozměr podle výkresu:		28,146 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:		28,277		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould	
rozměr	28,275	28,003	28,212	
odchylka	-0,002	-0,274	-0,065	



Obr. 3.78: Graf odchylek od reálného dílu

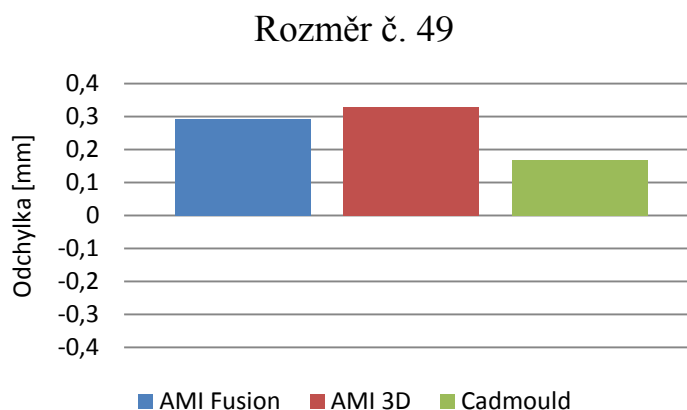
### 3.4.2.6 Rozměr 49



Obr. 3.79: Kontrolovaný rozměr č. 49

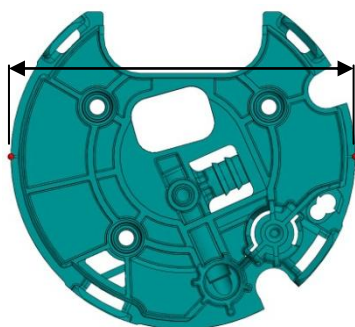
Tab. 3.23: Hodnoty rozměru č. 49 [mm]

Rozměr podle výkresu:		29,68 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:		29,752		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould	
rozměr	30,044	30,082	29,921	
odchylka	0,292	0,330	0,169	



Obr. 3.80: Graf odchylek od reálného dílu

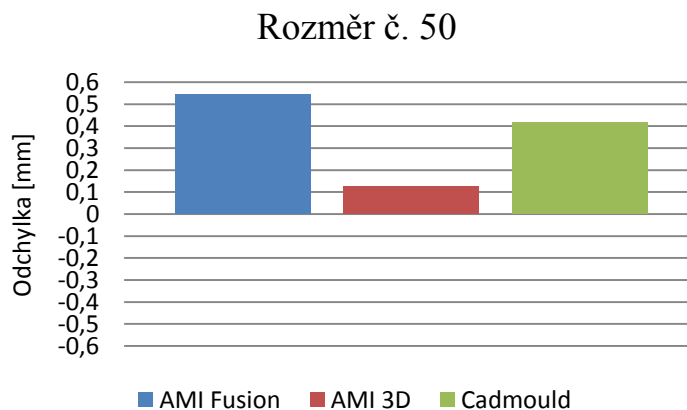
### 3.4.2.7 Rozměr 50



Obr. 3.81: Kontrolovaný rozměr č. 50

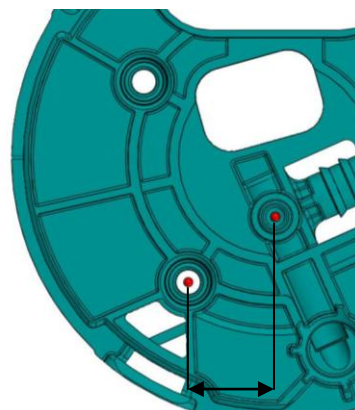
Tab. 3.24: Hodnoty rozměru č. 50 [mm]

Rozměr podle výkresu:	113 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:	112,875		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	113,418	113,002	113,293
odchylka	0,543	0,127	0,418



Obr. 3.82: Graf odchylek od reálného dílu

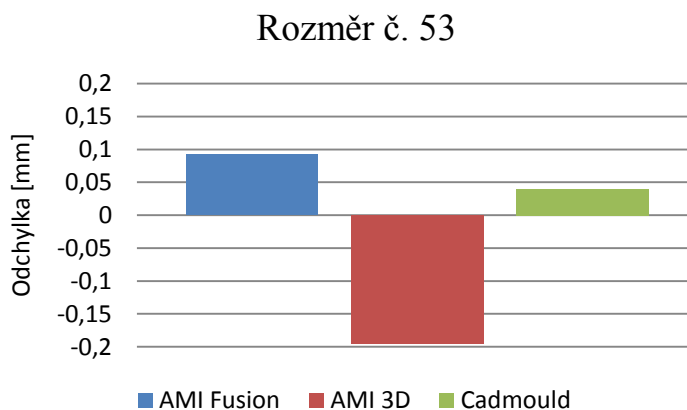
### 3.4.2.8 Rozměr 53



Obr. 3.83: Kontrolovaný rozměr č. 53

Tab. 3.25: Hodnoty rozměru č. 53 [mm]

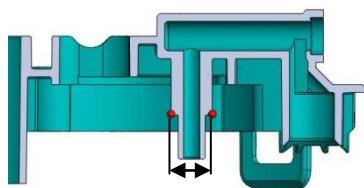
Rozměr podle výkresu:	18,641 ±0,25		
Rozměr naskenovaného dílu:	18,605		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	18,697	18,410	18,645
odchylka	0,092	-0,195	0,040



Obr. 3.84: Graf odchylek od reálného dílu



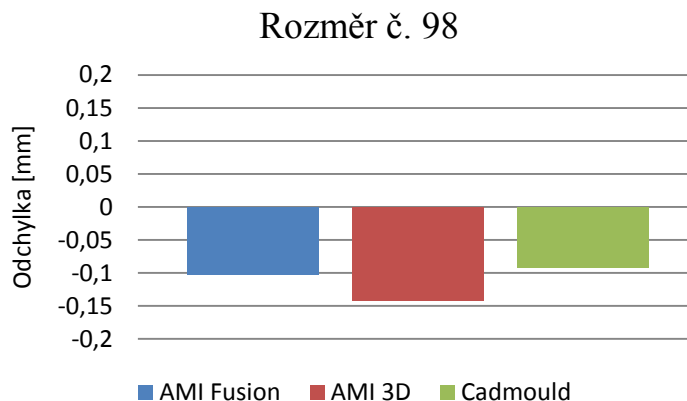
### 3.4.2.9 Rozměr 98



Obr. 3.85: Kontrolovaný rozměr č. 98

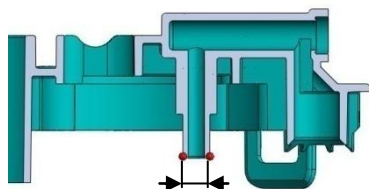
Tab. 3.26: Hodnoty rozměru č. 98 [mm]

Rozměr podle výkresu:		10,6 ±0,08		
Rozměr naskenovaného dílu:		10,668		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould	
rozměr	10,565	10,527	10,577	
odchylka	-0,103	-0,141	-0,091	



Obr. 3.86: Graf odchylek od reálného dílu

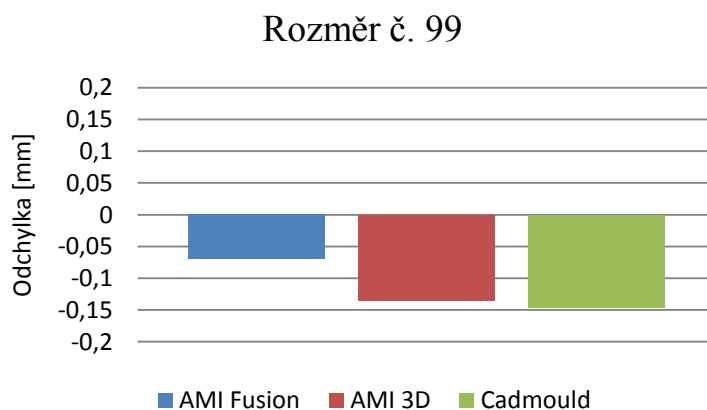
### 3.4.2.10 Rozměr 99



Obr. 3.87: Kontrolovaný rozměr č. 99

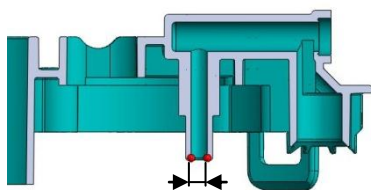
Tab. 3.27: Hodnoty rozměru č. 99 [mm]

Rozměr podle výkresu:		6,95 ±0,05		
Rozměr naskenovaného dílu:		7,031		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould	
rozměr	6,961	6,896	6,885	
odchylka	-0,070	-0,135	-0,146	



Obr. 3.88: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.4.2.11 Rozměr 100

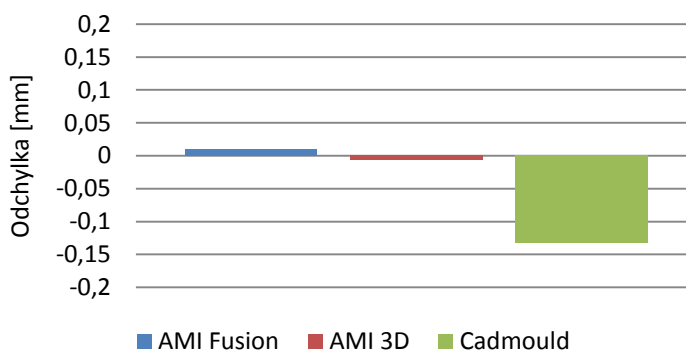


Obr. 3.89: Kontrolovaný rozměr č. 100

Tab. 3.28: Hodnoty rozměru č. 100 [mm]

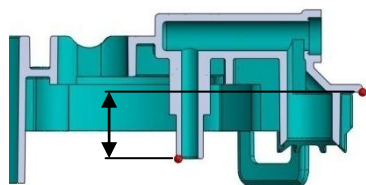
Rozměr podle výkresu:	4,2 ±0,1		
Rozměr naskenovaného dílu:	4,243		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	4,252	4,236	4,110
odchylka	0,009	-0,007	-0,133

#### Rozměr č. 100



Obr. 3.90: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.4.2.12 Rozměr 103

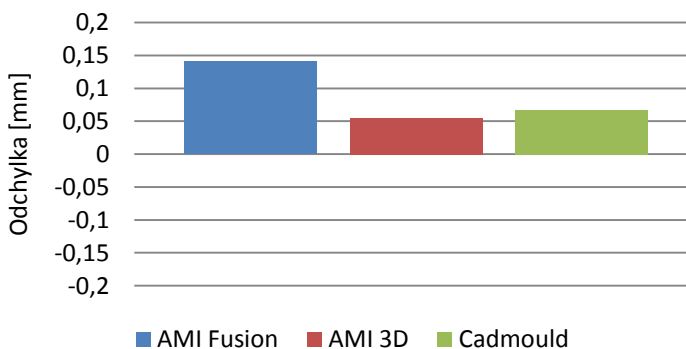


Obr. 3.91: Kontrolovaný rozměr č. 103

Tab. 3.29: Hodnoty rozměru č. 103 [mm]

Rozměr podle výkresu:	17,2 ±0,1		
Rozměr naskenovaného dílu:	17,254		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	17,394	17,309	17,321
odchylka	0,140	0,055	0,067

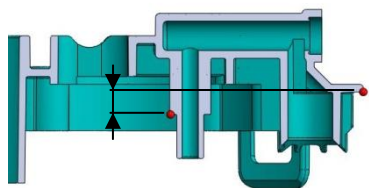
#### Rozměr č.103



Obr. 3.92: Graf odchylek od reálného dílu



### 3.4.2.13 Rozměr 104

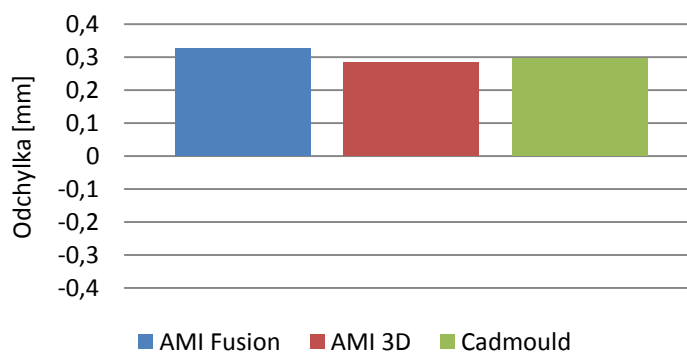


Obr. 3.93: Kontrolovaný  
rozměr č. 104

Tab. 3.30: Hodnoty rozměru č. 104 [mm]

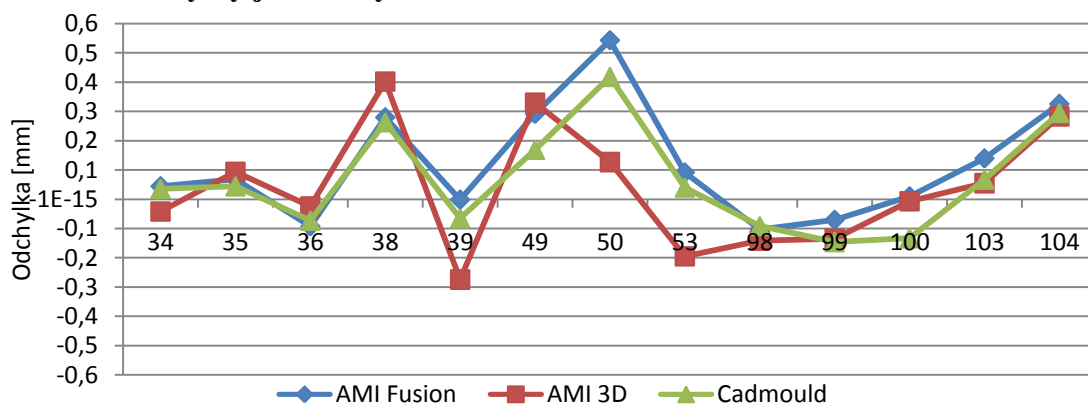
Rozměr podle výkresu:	5,8 ±0,1		
Rozměr naskenovaného dílu:	5,624		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	5,949	5,907	5,919
odchylka	0,325	0,283	0,295

Rozměr č. 104



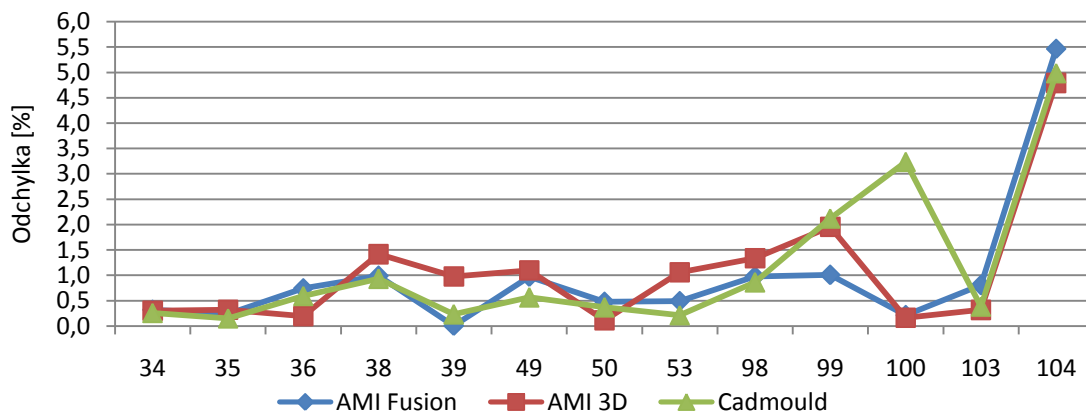
Obr. 3.94: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.4.2.14 Odchylky jednotlivých rozměrů



Obr. 3.95: Odchylky od jednotlivých rozměrů

### 3.4.2.15 Odchyly jednotlivých rozměrů



Obr. 3.96: Odchyly od jednotlivých rozměrů

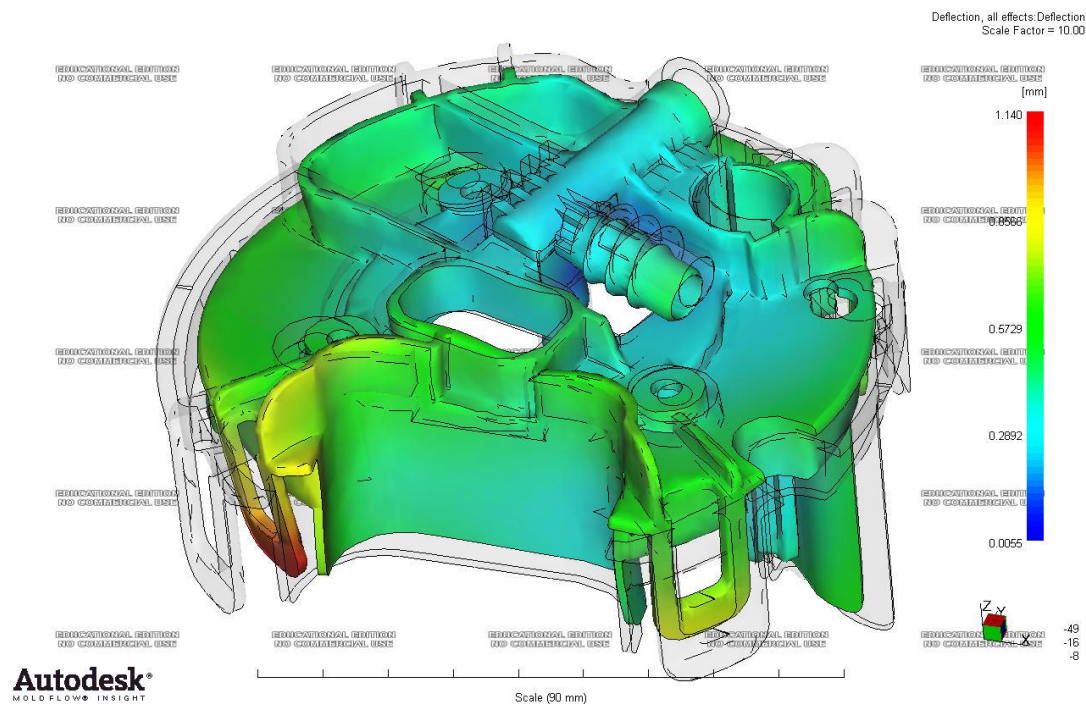
Tab. 3.31: Porovnání některých parametrů

	CADMOULD	AMI FUSION	AMI 3D
Čas na přípravu sítě	28m	19m	19m(fusion)+17m na 3D
Čas na úpravu sítě	0m	2,5h	2,5h(fusion)+0m na 3D
Čas na přípravu chlazení	25m	2,5h	2,5h(fusion))
Čas simulace	3h 10m	2h 20m	3h 14m
Počet prvků	40 387	40 468	521 496
Průměrná odchylka [%]	1.15	0.98	1.08

### 3.4.3 Maximální deformace

#### 3.4.3.1 AMI – 3D síť

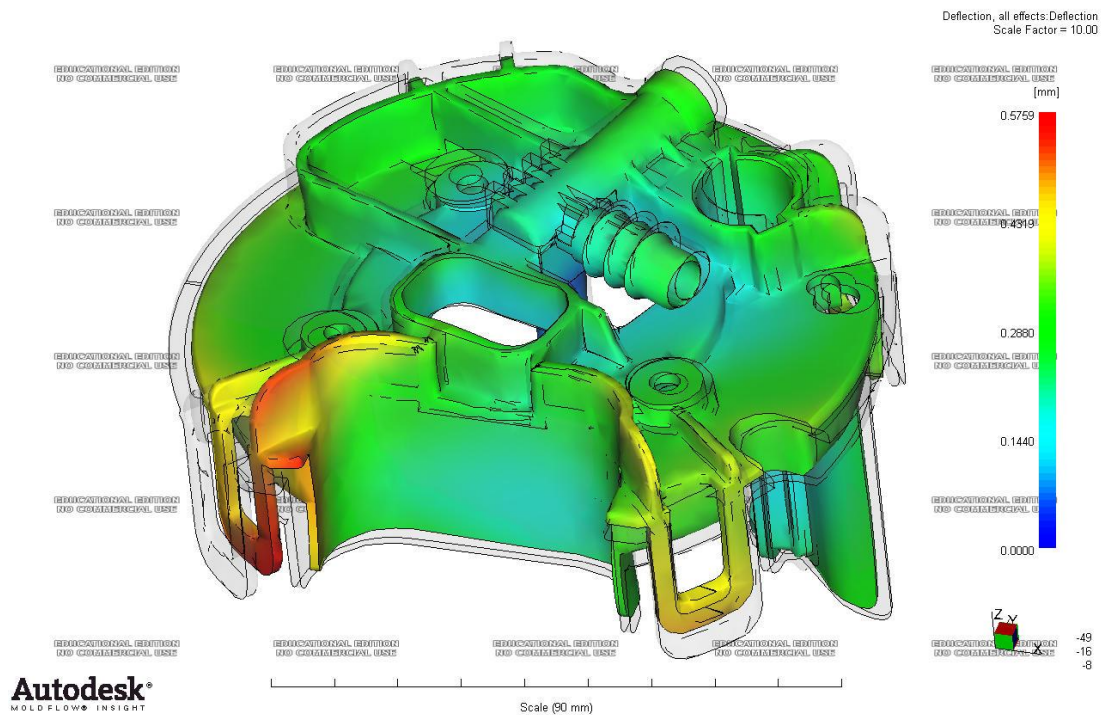
Hodnota maximální deformace: 1,140 mm (obr. 3.97)



Obr. 3.97: Maximální deformace M10:1

### 3.3.3.2 AMI – Fusion síť

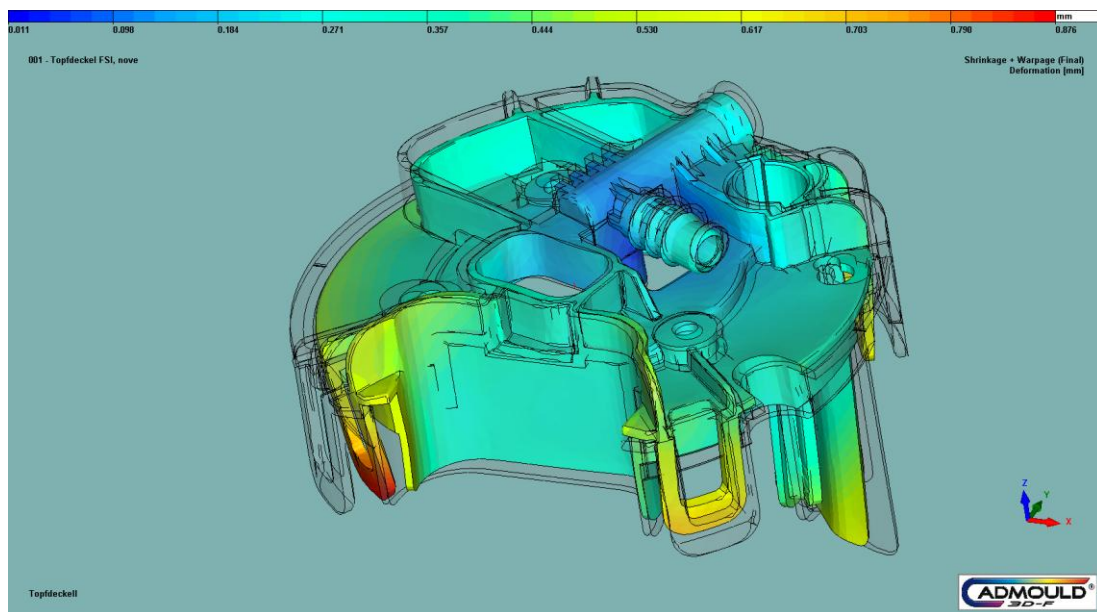
Hodnota maximální deformace: 0,576 mm (obr. 3.98)



Obr. 3.98: Maximální deformace M10:1

### 3.3.3.3 Cadmould

Hodnota maximální deformace: 0,876 mm (obr. 3.99)



Obr. 3.99: Maximální deformace M10:1

## 3.5 Porovnávání díl Filtergehäuse

### 3.5.1 Informace pro simulace

#### 3.5.1.1 Materiál

Materiálový list je přiložen v příloze.

*Název:* Ultraform S2320 003

*Typ:* POM

*Výrobce:* BASF

#### 3.5.1.2 Procesní parametry

Procesní parametry odpovídají skutečným vstřikovacím parametrům.

*Doba plnění:* 2,55 s

*Přepnutí na dotlak:* 99%

*Teplota taveniny:* 205 °C

*Teplota horkého kanálu:* 205 °C

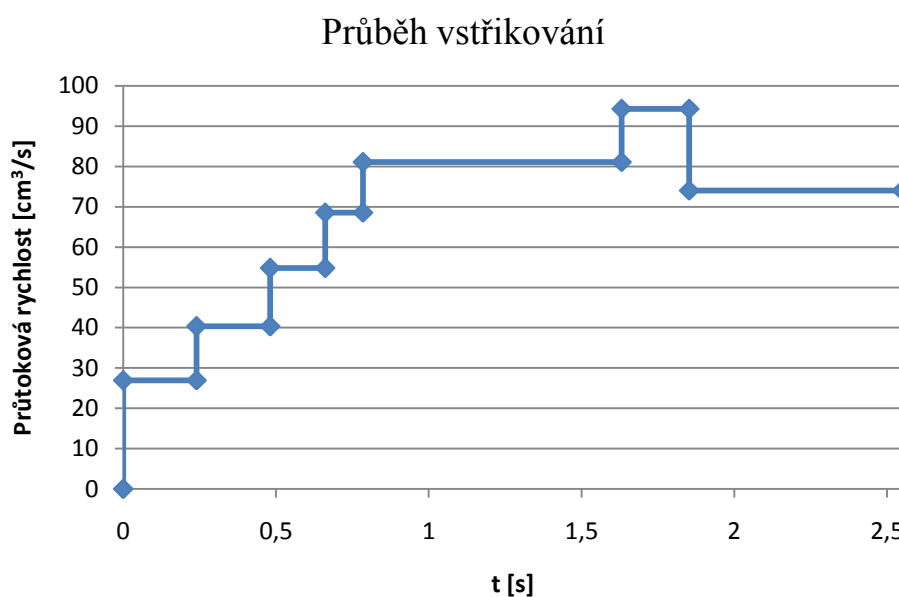
*Teplota formy:* 91,4/92,3 °C

*Teplota vyhození:* 110 °C

*Doba dotlaku:* 19 s

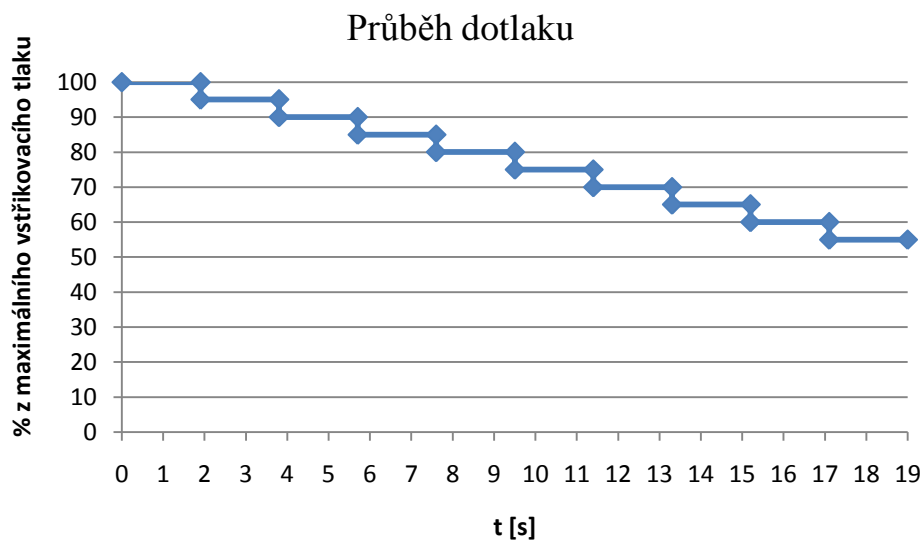
*Čas chlazení:* 34 s

Průběh vstřikování (obr. 3.100):



Obr. 3.100: Průběh vstřikování

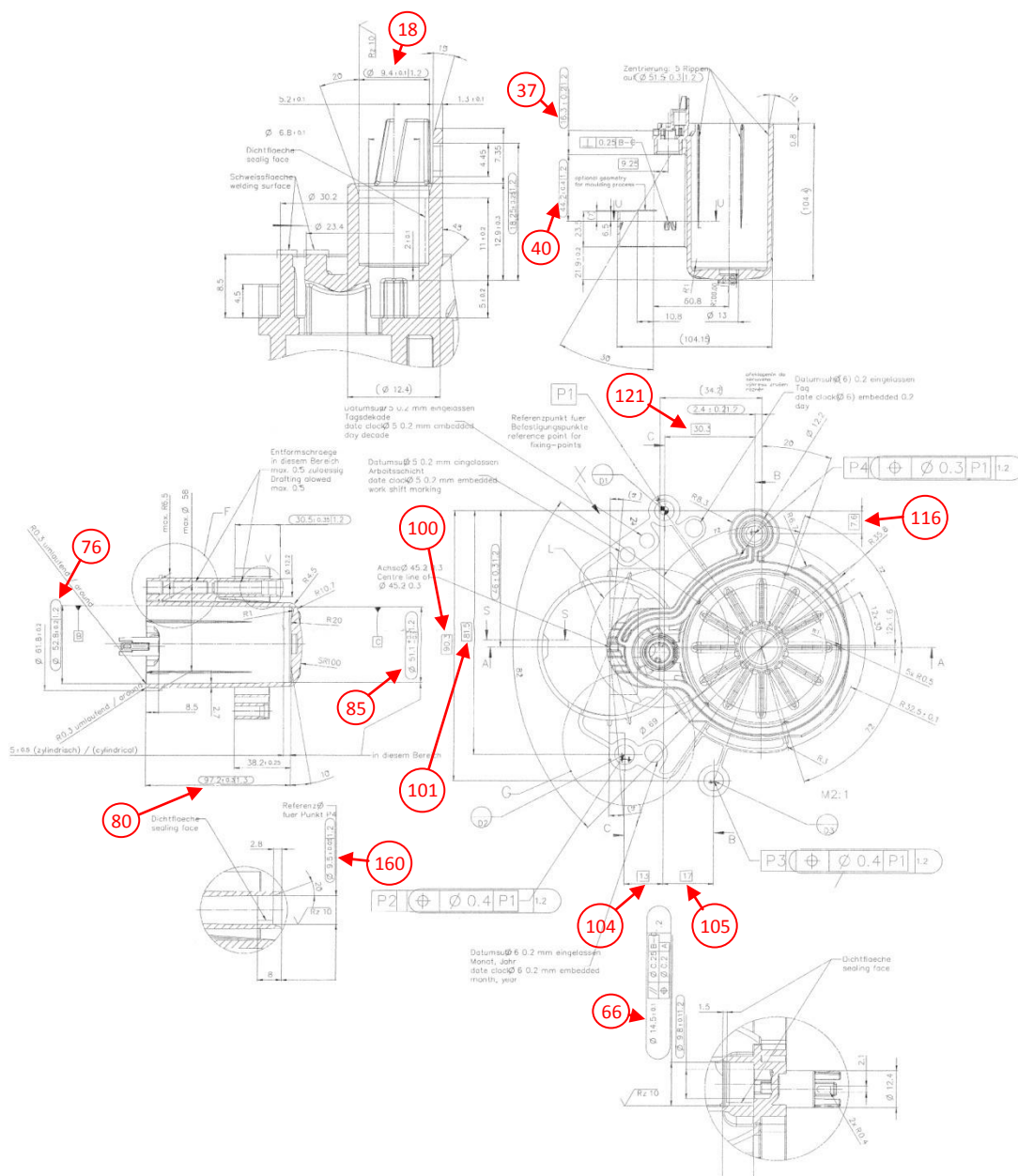
Průběh dotlaku (obr. 3.101):



Obr. 3.101: Průběh dotlaku

### 3.5.2 Porovnání rozměrů

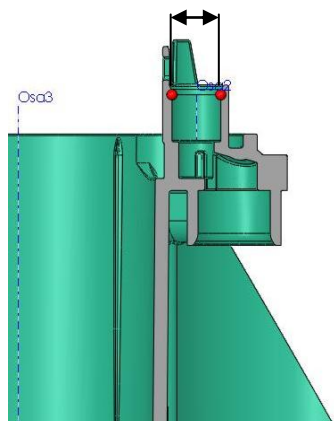
Tento díl je porovnán pomocí předem vytipovaných rozměrů 18, 37, 40, 66, 76, 80, 85, 100, 101, 116, 104, 105, 121 a 160. Rozměry 66, 76, 80 a 160 jsou kontrolovány ve dvou na sebe kolmých rovinách. Tyto rozměry jsou ukázány na následujícím obrázku, jako výřezy z výkresu (obr. 3.102).



Obr. 3.102: Část výkresu s proměřovanými rozměry



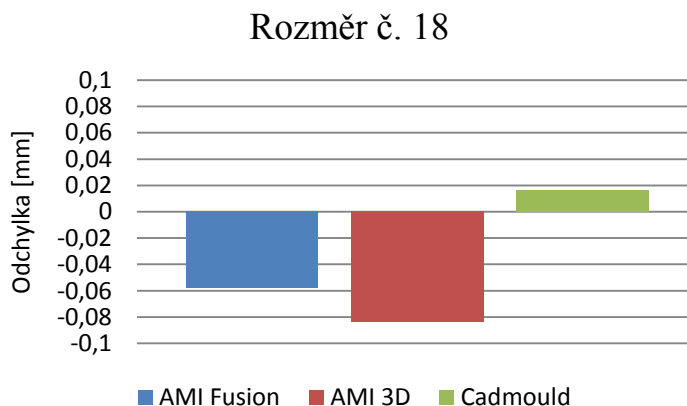
### 3.5.2.1 Rozměr 18



Obr. 3.103: Kontrolovaný rozměr č. 18

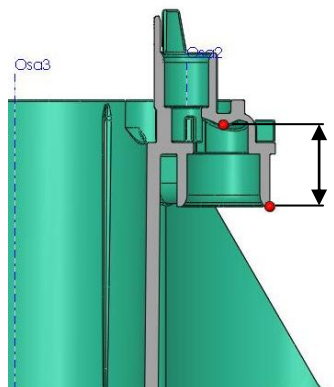
Tab. 3.32: Hodnoty rozměru č. 18 [mm]

Rozměr podle výkresu:	9,4 ±0,1		
Rozměr naskenovaného dílu:	9,475		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	9,417	9,391	9,491
odchylka	-0,058	-0,084	0,016



Obr. 3.104: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.2 Rozměr 37



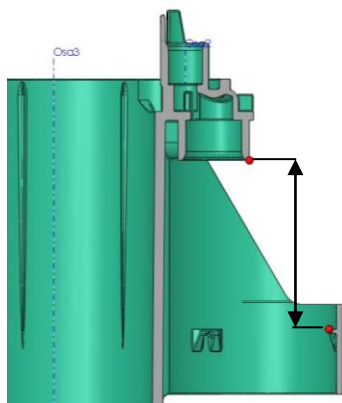
Obr. 3.105: Kontrolovaný rozměr č. 37

Tab. 3.33: Hodnoty rozměru č. 37 [mm]

Rozměr podle výkresu:	16,3 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:	nelze změřit		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	16,493	16,500	16,568
odchylka			



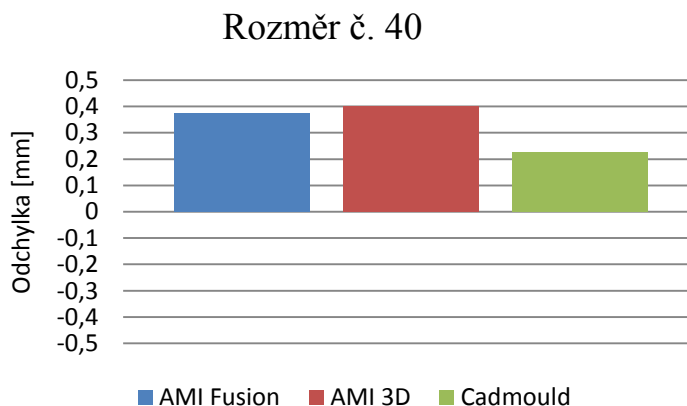
### 3.5.2.3 Rozměr 40



Obr. 3.106: Kontrolovaný rozměr č. 40

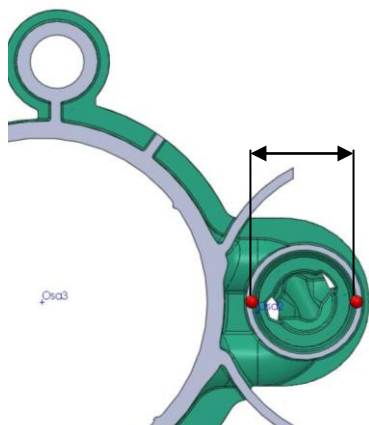
Tab. 3.34: Hodnoty rozměru č. 40 [mm]

Rozměr podle výkresu:	44,2 ±0,4		
Rozměr naskenovaného dílu:	44,324		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	44,699	44,725	44,549
odchylka	0,375	0,401	0,225



Obr. 3.107: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.4 Rozměr 66 v ose X



Obr. 3.108: Kontrolovaný rozměr č. 66 v ose X

Tab. 3.35: Hodnoty rozměru č. 66 v ose X [mm]

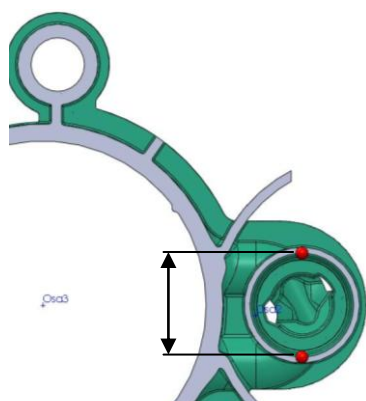
Rozměr podle výkresu:	14,5 ±0,1		
Rozměr naskenovaného dílu:	Nelze změřit		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	15,801	15,871	15,896
odchylka			

Rozměr je měřen v místě, které mohla nasnímat kamera při digitalizování skutečného dílu. Z tohoto důvodu je rozdíl mezi hodnotami z obou softwarů a z výkresu tak velký.

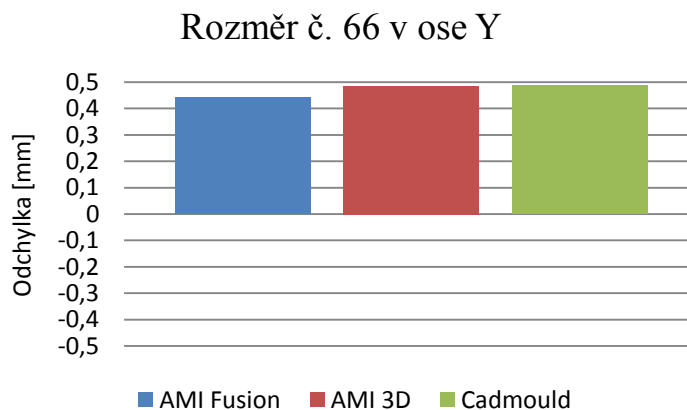
### 3.5.2.5 Rozměr 66 v ose Y

Tab. 3.36: Hodnoty rozměru č. 66 v ose Y [mm]

Rozměr podle výkresu:		14,5 ±0,1	
Rozměr naskenovaného dílu:		15,464	
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	15,905	15,949	15,951
odchylka	0,441	0,485	0,487



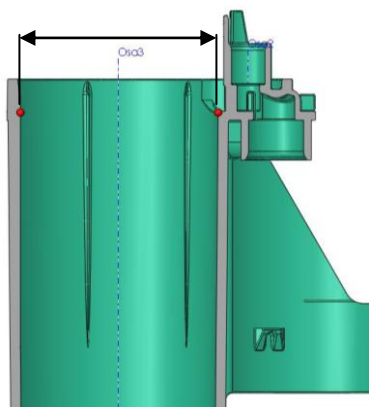
Obr. 3.109: Kontrolovaný rozměr č. 66 v ose Y



Obr. 3.110: Graf odchylek od reálného dílu

Rozměr je měřen v místě, které mohla nasnímat kamera při digitalizování skutečného dílu. Z tohoto důvodu je rozdíl mezi hodnotou nasnímaného dílu a hodnotou z výkresu tak velký.

### 3.5.2.6 Rozměr 76 v ose X

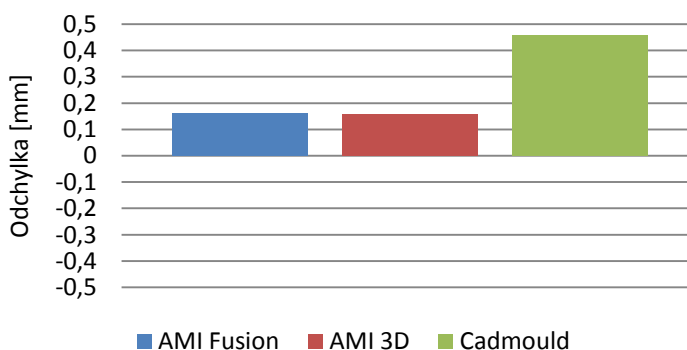


Obr. 3.111: Kontrolovaný rozměr č. 76 v ose X

Tab. 3.37: Hodnoty rozměru č. 76 v ose X [mm]

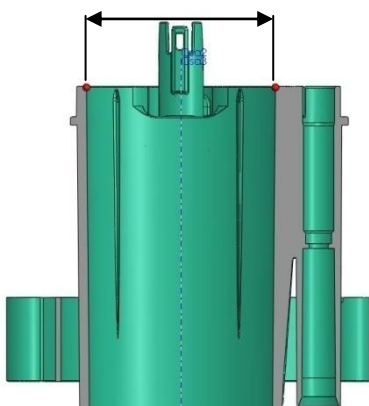
Rozměr podle výkresu:	52,8 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:	52,242		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	52,405	52,400	52,699
odchylka	0,163	0,158	0,457

Rozměr č. 76 v ose X



Obr. 3.112: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.7 Rozměr 76 v ose Y

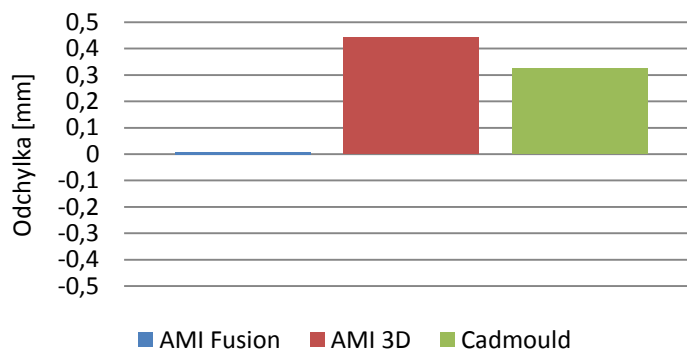


Obr. 3.113: Kontrolovaný rozměr č. 76 v ose Y

Tab. 3.38: Hodnoty rozměru č. 76 v ose Y [mm]

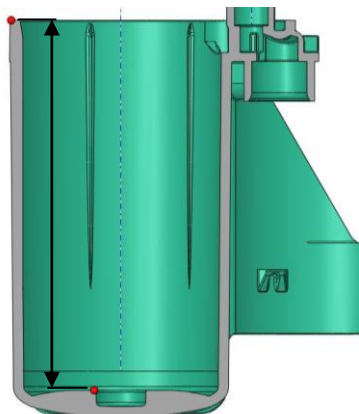
Rozměr podle výkresu:	52,8 ±0,2		
Rozměr naskenovaného dílu:	52,637		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	52,645	53,080	52,961
odchylka	0,008	0,443	0,324

Rozměr č. 76 v ose Y



Obr. 3.114: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.8 Rozměr 80 v rovině XZ

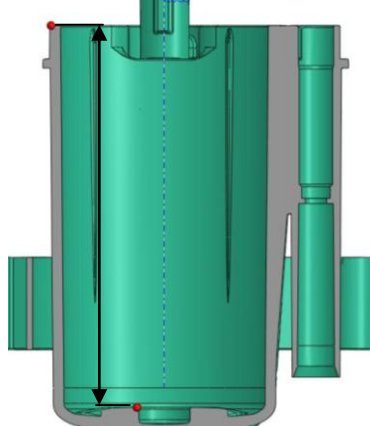


Obr. 3.115: Kontrolovaný rozměr č. 80 v rovině XZ

Tab. 3.39: Hodnoty rozměru č. 80 v rovině XZ [mm]

Rozměr podle výkresu:		97,2 ±0,3	
Rozměr naskenovaného dílu:		Nelze změřit	
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	97,238	97,526	97,775
odchylka			

### 3.5.2.9 Rozměr 80 v rovině YZ

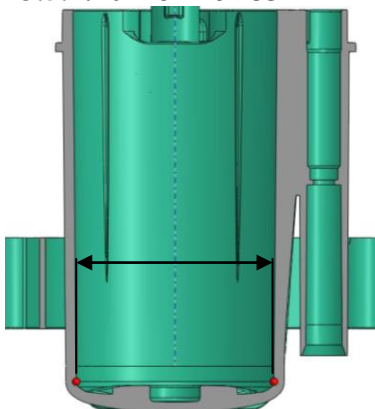


Obr. 3.116: Kontrolovaný rozměr č. 80 v rovině YZ

Tab. 3.40: Hodnoty rozměru č. 80 v rovině YZ [mm]

Rozměr podle výkresu:		97,2 ±0,3	
Rozměr naskenovaného dílu:		Nelze změřit	
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	97,231	97,470	97,751
odchylka			

### 3.5.2.10 Rozměr 85

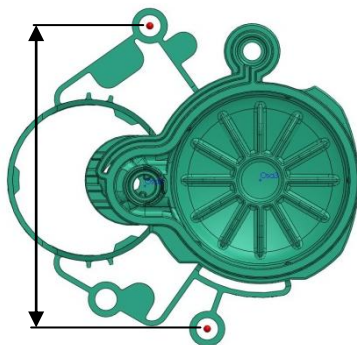


Obr. 3.117: Kontrolovaný rozměr č. 85

Tab. 3.41: Hodnoty rozměru č. 85 [mm]

Rozměr podle výkresu:		51,1 +0,3 -0,1	
Rozměr naskenovaného dílu:		Nelze změřit	
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	51,178	51,311	51,467
odchylka			

### 3.5.2.11 Rozměr 100

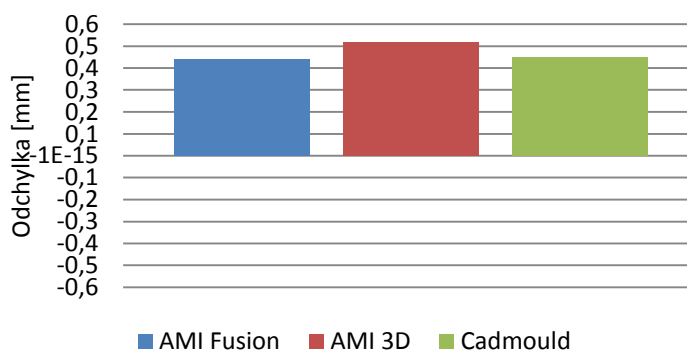


Obr. 3.118: Kontrolovaný rozměr č. 100

Tab. 3.42: Hodnoty rozměru č. 100 [mm]

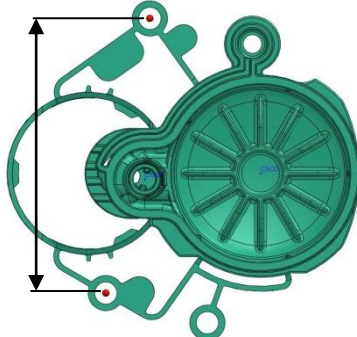
Rozměr podle výkresu:	90,3		
Rozměr naskenovaného dílu:	90,099		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	90,537	90,614	90,550
odchylka	0,438	0,515	0,451

Rozměr č. 100



Obr. 3.119: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.12 Rozměr 101

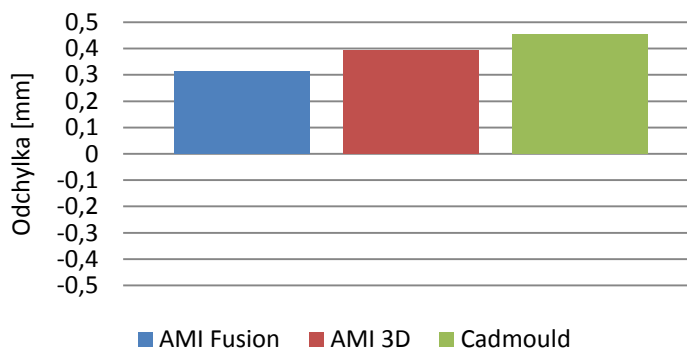


Obr. 3.120: Kontrolovaný rozměr č. 101

Tab. 3.43: Hodnoty rozměru č. 101 [mm]

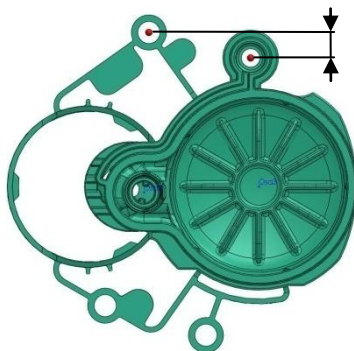
Rozměr podle výkresu:	81,5		
Rozměr naskenovaného dílu:	81,357		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	81,672	81,749	81,812
odchylka	0,315	0,392	0,455

Rozměr č. 101



Obr. 3.121: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.13 Rozměr 116

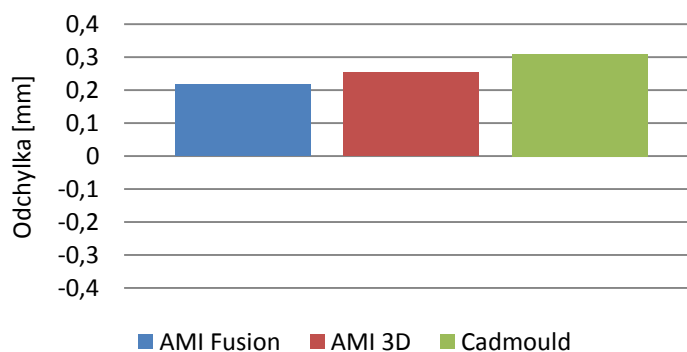


Obr. 3.122: Kontrolovaný  
rozměr č. 116

Tab. 3.44: Hodnoty rozměru č. 116 [mm]

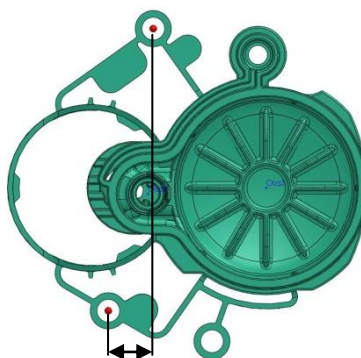
Rozměr podle výkresu:	7,6		
Rozměr naskenovaného dílu:	7,639		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	7,856	7,893	7,948
odchylka	0,217	0,254	0,309

Rozměr č. 116



Obr. 3.123: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.14 Rozměr 104

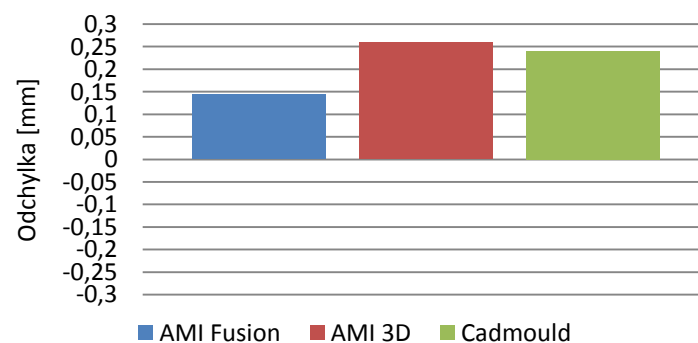


Obr. 3.124: Kontrolovaný  
rozměr č. 104

Tab. 3.45: Hodnoty rozměru č. 104 [mm]

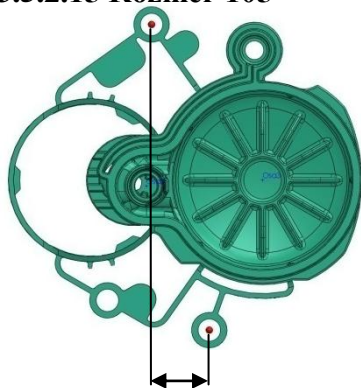
Rozměr podle výkresu:	13		
Rozměr naskenovaného dílu:	12,858		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	13,002	13,117	13,098
odchylka	0,144	0,259	0,240

Rozměr č. 104



Obr. 3.125: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.15 Rozměr 105

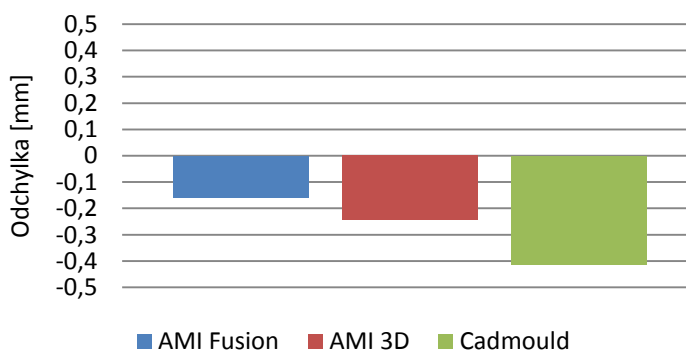


Obr. 3.126: Kontrolovaný rozměr č. 105

Tab. 3.46: Hodnoty rozměru č. 105 [mm]

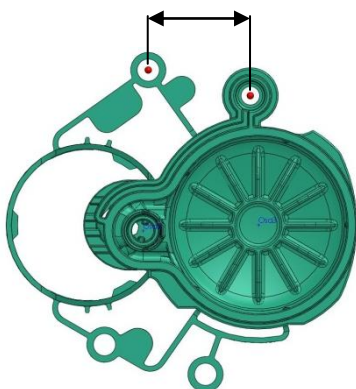
Rozměr podle výkresu:	17		
Rozměr naskenovaného dílu:	17,209		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	17,050	16,966	16,795
odchylka	-0,159	-0,243	-0,414

Rozměr č. 105



Obr. 3.127: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.16 Rozměr 121

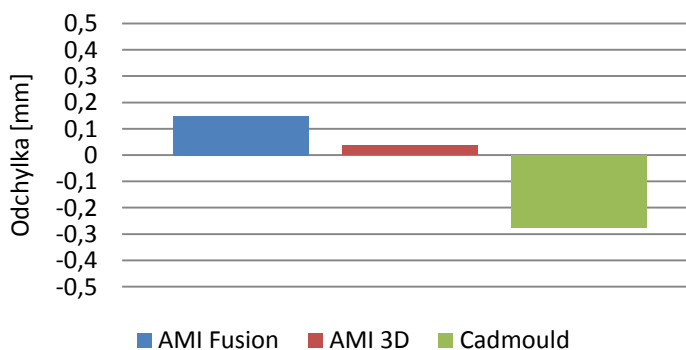


Obr. 3.128: Kontrolovaný rozměr č. 121

Tab. 3.47: Hodnoty rozměru č. 121 [mm]

Rozměr podle výkresu:	30,3		
Rozměr naskenovaného dílu:	30,400		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	30,548	30,438	30,123
odchylka	0,148	0,038	-0,277

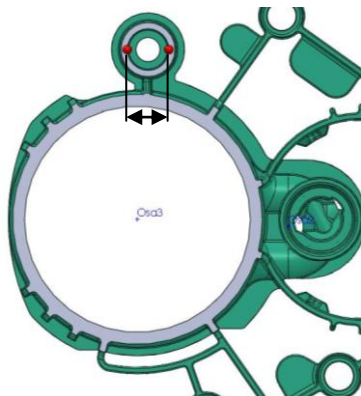
Rozměr č. 121



Obr. 3.129: Graf odchylek od reálného dílu



### 3.5.2.17 Rozměr 160 v ose X

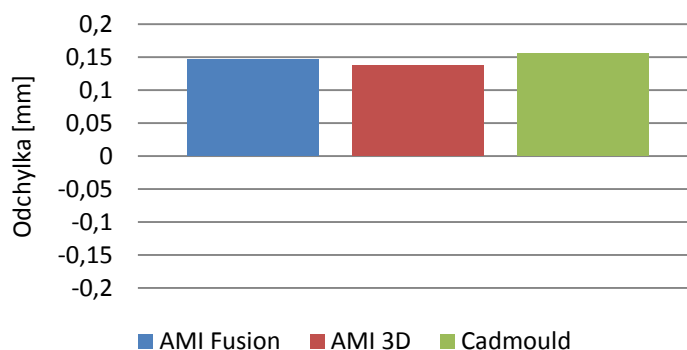


Obr. 3.130: Kontrolovaný rozměr č. 160 v ose X

Tab. 3.48: Hodnoty rozměru č. 160 v ose X [mm]

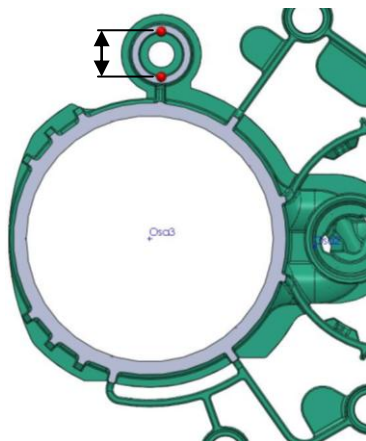
Rozměr podle výkresu:	9,5 ±0,05		
Rozměr naskenovaného dílu:	9,425		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	9,571	9,562	9,580
odchylka	0,146	0,137	0,155

Rozměr č. 160 v ose X



Obr. 3.131: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.18 Rozměr 160 v ose Y

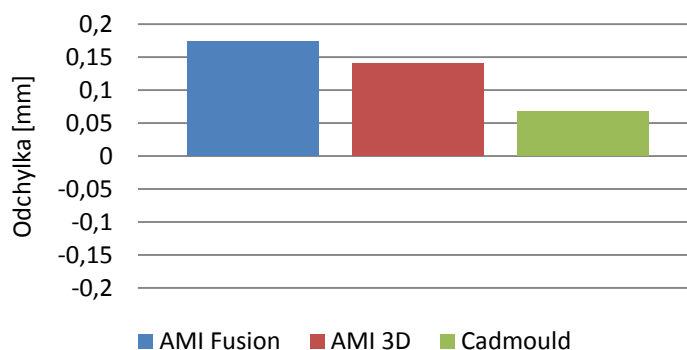


Obr. 3.132: Kontrolovaný rozměr č. 160 v ose Y

Tab. 3.49: Hodnoty rozměru č. 160 v ose Y [mm]

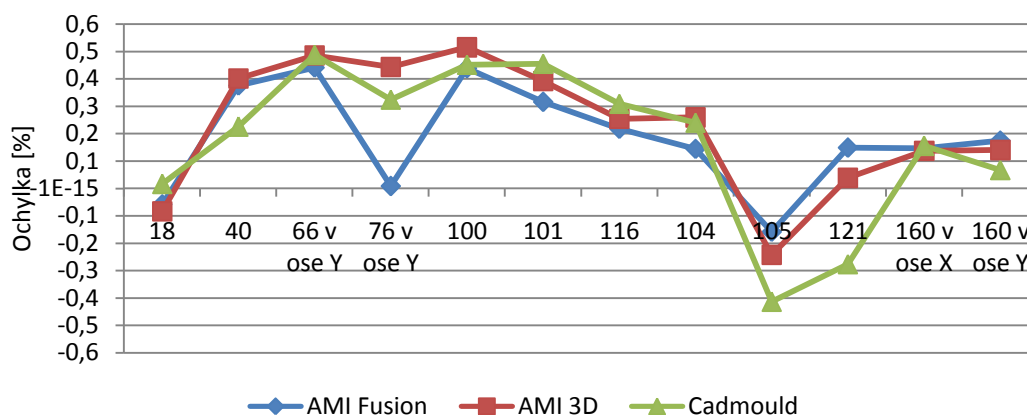
Rozměr podle výkresu:	9,5 ±0,05		
Rozměr naskenovaného dílu:	9,433		
	AMI Fusion	AMI 3D	Cadmould
rozměr	9,607	9,573	9,500
odchylka	0,174	0,140	0,067

Rozměr č. 160 v ose Y



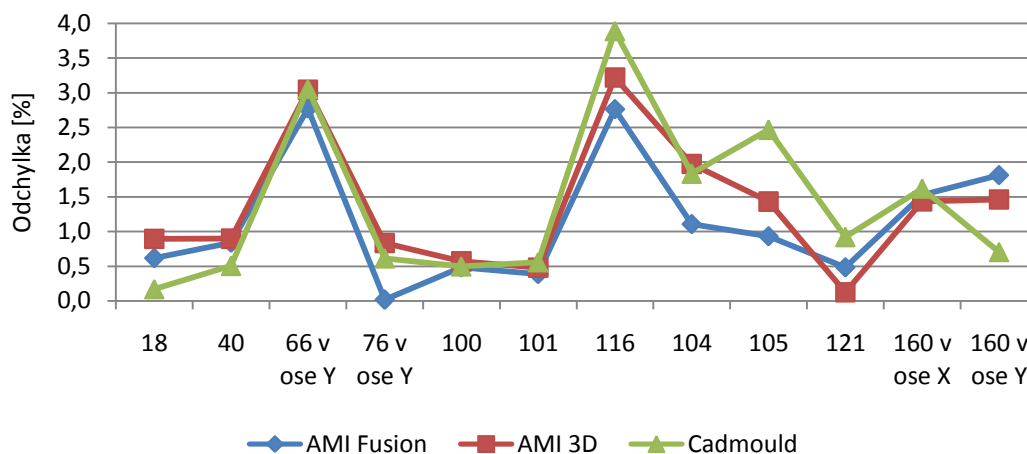
Obr. 3.133: Graf odchylek od reálného dílu

### 3.5.2.19 Odchylky jednotlivých rozměrů



Obr. 3.134: Odchylky od jednotlivých rozměrů

### 3.5.2.20 Odchylky jednotlivých rozměrů



Obr. 3.135: Odchylky od jednotlivých rozměrů

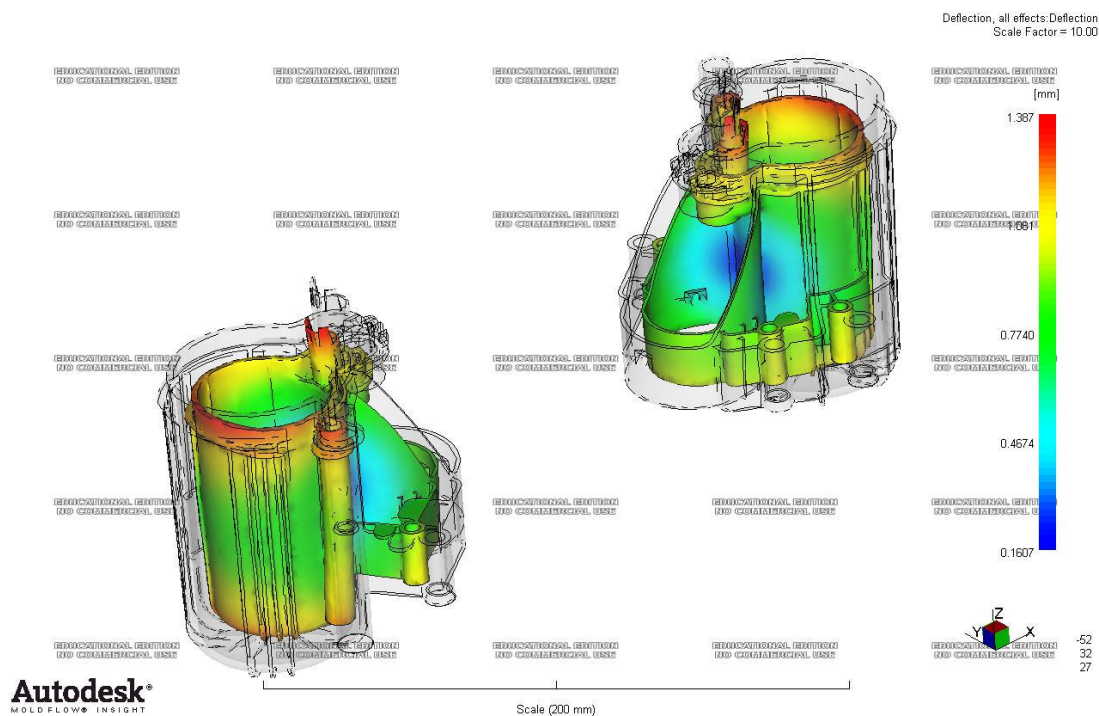
Tab. 3.50: Porovnání některých parametrů

	CADMOULD	AMI FUSION	AMI 3D
Čas na přípravu sítě	35m	25m	25m(fusion)+20m na 3D
Čas na úpravu sítě	0m	4h	4h(fusion)+0 na 3D
Čas na přípravu chlazení	40m	4,5h	4,5h(fusion)
Čas simulace	cca. 12h	10h 31m	14h 16m
Počet prvků	157775	89 838	1052862
Průměrná odchylka [%]	1,36	1,08	1,28

### 3.3.3 Maximální deformace

#### 3.3.3.1 AMI – 3D síť

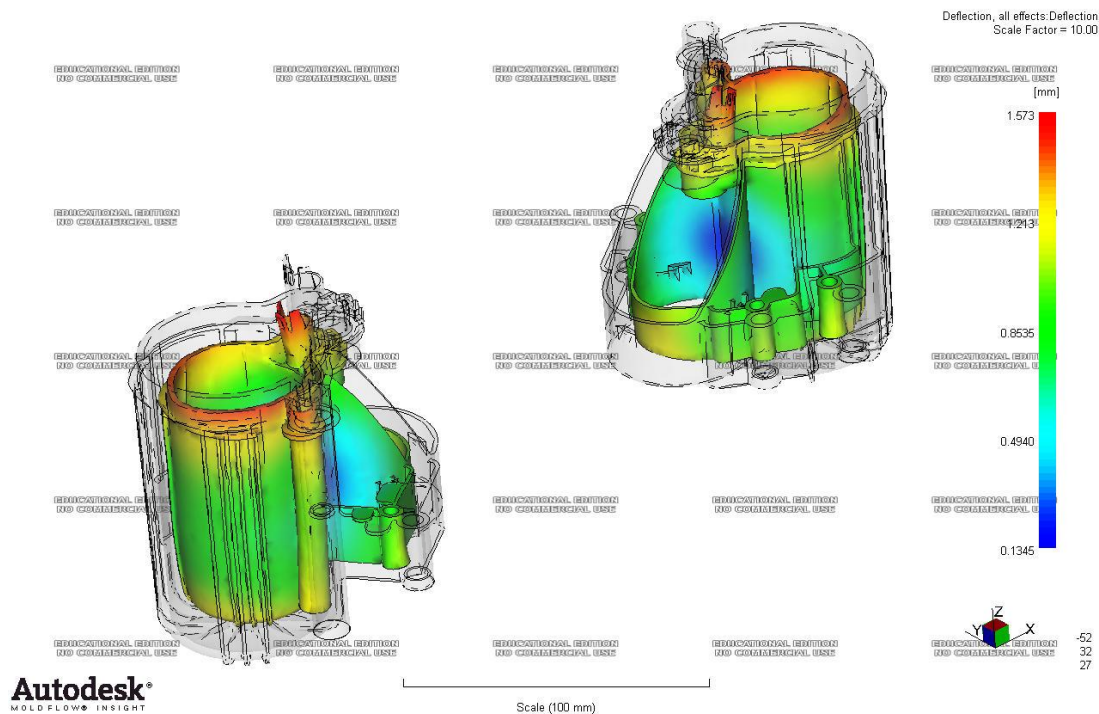
Hodnota maximální deformace: 1,387 mm (obr. 3.136)



Obr. 3.136: Maximální deformace M10:1

#### 3.3.3.2 AMI – Fusion síť

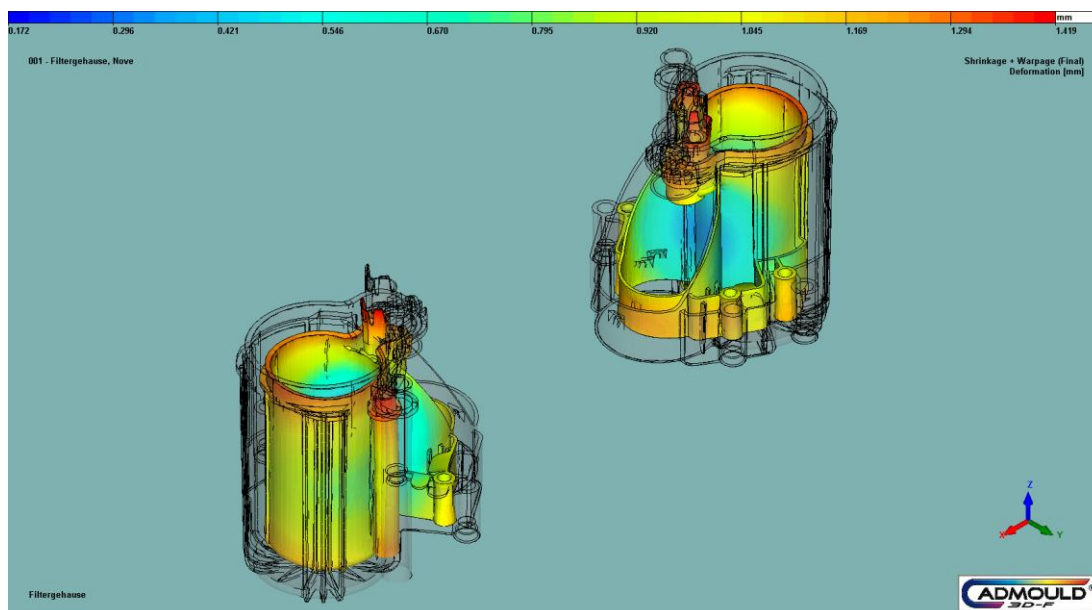
Hodnota maximální deformace: 1,573 mm (obr. 3.137)



Obr. 3.137: Maximální deformace M10:1

### 3.3.3.3 Cadmould

Hodnota maximální deformace: 1,419 mm (obr. 3.138)



Obr. 3.138: Maximální deformace M10:1

## 3.6 Porovnání Cadmould vs. AMI

### 3.6.1 Úprava modelu + vytvoření sítě

#### AMI

- formát modelu v \*.stl
- použití včetně přechodových rádiusů
- + 3 druhy výpočtových sítí – midplane, Fusion a 3D
- + možnost úpravy sítě
- doporučuje se odstranění malých rádiusů (další program)

#### Cadmould

- formát modelu v \*.stl
- použití včetně přechodových rádiusů
- 2 druhy výpočtové sítě – midplane, příhradový 3D model
- pro opravu sítě nutno další program

### 3.6.2 Zadaní vstupních dat

#### AMI

- osy chladících kanálů ve formátu \*.igs
- + **vlastní** databáze plastů cca. 8000 položek
- složitější uživatelské prostředí
- zadání vstupních dat nahodile (bez nutnosti posloupnosti)
- souřadnicové modelování vtokového a chladícího systému

#### Cadmould

- osy chladících kanálů ve formátu \*.igs
- + jednoduché uživatelské prostředí
- + zadání vstupních dat po krocích
- + jednoduché modelování vtokového systému a chladících kanálů
- + materiály formy s různou teplotní vodivostí
- databáze plastů cca. 7 000 položek (Campus)

### 3.6.3 Vstřikovací parametry

U obou programů se zadávají tyto parametry:

- vstřikovací rychlost / čas
- vstřikovací tlak
- dotlak / bod přepnutí
- čas dotlaku
- uzavírací síla lisu
- teplota nástroje
- chladící médium
- teplota taveniny

#### AMI

- zadání průběhů numericky do tabulky
- variace parametrů

#### Cadmould

- + zadání průběhů numericky v tabulce nebo graficky
- + výsledky i v grafech

### 3.6.4 Výsledky simulace – smrštění a deformace

#### AMI

- smrštění a deformace v okamžiku vyhození výstřiku
- výsledky v jednotlivých osách X, Y, Z
- reálnost výsledků simulace
- volné smrštění a deformace nejsou dostupné
- redukovaná deformace není dostupná

#### Cadmould

- smrštění a deformace v okamžiku vyhození výstřiku
- výsledky v jednotlivých osách X, Y, Z
- reálnost výsledků simulace
- + smrštění a deformace po odformování (volné)
- + redukovaná deformace bez smrštění

## 4 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V programech Cadmould 3D-F a Autodesk Moldflow Insight byly provedeny simulace plnění, chlazení a deformací pro 3 vybrané díly. Přičemž v programu AMI byly využity 2 druhy výpočtových sítí (Fusion a 3D). Výsledky ze simulací byly porovnány s nasnímaným dílem. Z důvodu vysokých finančních nákladů na 3D digitalizaci skutečných dílů, bylo toto snímání provedeno pouze pro jeden vzorek od každého dílu. Pro větší objektivitu výsledků by bylo zapotřebí alespoň 5 vzorků od každého dílu. Potom by se zjistila průměrná hodnota kontrolovaných rozměrů, které by se porovnaly s výsledky ze simulací. Aby se daly tyto výsledky porovnávat, nemohly se simulace provést pro model dílu, ale byly provedeny s modelem dutiny formu, tzn. model byl zvětšen o smrštění. Hodnoty rozměrů měřených ze simulací mohou být mírně zkresleny z důvodu, že síť vytvořená z trojúhelníků nepopisuje díl dokonale, ale například kruhový tvar je popsán mnohoúhelníkem.

Díly byly porovnávány ve vytipovaných rozměrech a byla zjištěna procentuální odchylka od nasnímaného dílu, tyto odchylky jsou znázorněny pro Topf Audi FSI na obr. 3.57, pro Topfdeckel na obr. 3.96 a pro Filtergehäuse na obr. 3.135, které jsou uvedeny v experimentální části. Průměrná procentuální odchylka byla zvolena jako jedno z kritérií pro porovnávání obou softwarů. Pro jednotlivé díly jsou znázorněny v následujících tabulkách: pro Topf Audi FSI v tab. 4.1, pro Topfdeckel v tab. 4.2 a pro Filtergehäuse v tab. 4.3.

*Tab. 4.1: Průměrné odchylky pro díl Topf Audi FSI*

Program (použitá síť)	Průměrná odchylka [%]
Cadmould	0,50
AMI Fusion	1,01
AMI 3D	0,92



*Tab. 4.2: Průměrné odchylky pro díl Topfdeckel*

<b>Program (použitá síť)</b>	<b>Průměrná odchylka [%]</b>
Cadmould	1,15
AMI Fusion	0,98
AMI 3D	1,08

*Tab. 4.3: Průměrné odchylky pro díl Filtergehäuse*

<b>Program (použitá síť)</b>	<b>Průměrná odchylka [%]</b>
Cadmould	1,36
AMI Fusion	1,08
AMI 3D	1,28

Z hlediska přípravy celého modelu pro simulaci, včetně tvorby, úpravy chladicích systémů a zadávání technologických parametrů je uživatelsky příjemnější a rychlejší program Cadmould. Ovšem program AMI nabízí více možností, pomocí kterých se lze více přiblížit skutečným podmínkám (např. zadávání přesného typu stroje, ...)

## 5 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, který ze simulačních programů pro vstřikování plastů je přesnější a zároveň uživatelsky příjemnější. Toto porovnání bylo provedeno ve spolupráci se společností Robert Bosch České Budějovice. Bylo provedeno na 3 vytipovaných výrobcích, které se sériově vyrábí, tudíž byly k dispozici veškeré zpracovatelské parametry, včetně průtoků a teplot v temperančních okruzích.

Simulační analýzy byly provedeny na Katedře strojírenské technologie, oddělení tváření kovů a plastů, Technické univerzity v Liberci v programu Cadmould a Autodesk Moldflow Insight. Digitalizování reálných dílů bylo zajištěno v externí firmou.

V teoretické části byly popsány požadavky na programový aparát, předpoklady tvorby sítí, výhody a nevýhody jednotlivých sítí, dále byly stručně popsány oba simulační programy, a jelikož jsou všechny výrobky z materiálu POM, byly zde popsány jeho vlastnosti.

V experimentální části je vysvětlen a porovnán postup přípravy modelů pro simulaci. A to z hlediska přípravy a úpravy sítě, tvorby vtoku, tvorby temperančních kanálů a zadávání procesních parametrů. Dále bylo provedeno proměření vytipovaných rozměrů a byla zjištěna průměrná procentuální odchylka, která se pohybovala pro Topf Audi FSI v rozmezí od (0,5 – 1,01)%, přičemž nejlépe vyšel software Cadmould. Pro zbylé dva díly byl nejvhodnější program Autodesk Moldflow Insight s použitou sítí Fusion. Odchylka se celkově pro všechny 3 díly pohybovala od (0,5 do 1,36)%, což je poměrně přesné. Také nelze s jistotou říci, který program je nejvhodnější, protože vše závisí na parametrech, které můžeme ovlivnit (např. hustota sítě) a které nemůžeme ovlivnit (např. tvar výrobku).

Celkově by se dalo říci, že z hlediska přesnosti je v průměru lepší program AMI s použitou sítí Fusion. Z hlediska uživatelského prostředí a rychlosti přípravy simulací se jako příjemnější jeví program Cadmould. Z důvodu, že průměrné procentuální odchylky jsou ve velmi malém rozmezí a s přihlédnutím k uživatelskému prostředí je program Cadmould vhodnější.



## LITERATURA

- [1] KOLÁŘ, V.; NĚMEC, I.; KANICKÝ, V.: *FEM Principy a praxe metody konečných prvků*. Praha: Computer Press, 1997. 401 s. ISBN 80-7226-021-9
- [2] ŠPANIEL, M.: *Metoda konečných prvků při navrhování a kontrole strojních součástí. Habilitační přednášky*. Praha: ČVUT v Praze, 2007. 23 s. ISBN 978-80-01-03750-8
- [3] SHOEMAKER, J.: *Moldflow Design Guide: A Resource for Plastic Engineers*. Cincinnati: Hanser, 2006. 326 s. ISBN-13:978-1-56990-403-9.
- [4] [www.moldflow.com](http://www.moldflow.com) (březen 2009)
- [5] HALAŠKA, P.: 6.Moldflow Workshop, CD
- [6] [www.cadmould.cz](http://www.cadmould.cz) (březen 2009)
- [7] Plasty Gabriel s.r.o.: Seminář CADMOULD 3D-F, CD
- [8] KREBS, J.: *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Liberec: TU v Liberci, 2006. 250 s. ISBN 80-7372-133-3
- [9] LENFELD P. a kolektiv: *Strojírenská technologie vybrané prezentace*. Liberec: TU v Liberci, 2008. 247 s. ISBN 978-80-7372-326-2
- [10] Materiály společnosti Bosch
- [11] [www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz) (březen 2009)

## Seznam příloh:

Příloha I. Materiálový list: Ultraform N2200 G43

Příloha II.                      Materiálový list: Ultraform S2320 003

## **PROHLÁŠENÍ**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo od mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, dne 5. června 2009

## **DECLARATION**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 5<sup>th</sup> June 2009